Р. Досон, Д. Эллиот, У. Эллиот, К. Дж

СПРАВОЧНИК БИОХИМИ

Перевод с английского
канд. хим. наук В. Л. Друцы
и канд. хим. наук О. Н. Королевой

Москва «Мир»
1991

Оглавление

Предисловие к русскому изданию 5
Предисловие 6
Как пользоваться книгой 7
Принятые сокращения 9
1. Аминокислоты, амины, амиды, пептиды и их производные 11
2. Карбоновые кислоты, спирты, альдегиды и кетоны 38
3. Эфиры фосфорной кислоты (кроме нуклеотидов и коферментов) 56
4. Компоненты нуклеиновых кислот и родственные соединения 71
5. Спектральные данные и pK_a для пуринов, пиримидинов, нуклеозидов и нуклеотидов 88
6. Витамины и коферменты 99
7. Углеводы и родственные соединения 123
Нуклеозиддифосфосахара 139
8. Липиды и жирные кислоты с длинными углеводородными цепями 142
9. Стероиды 159
10. Порфирины и родственные соединения 174
А. Желчные пигменты и родственные соединения 174
Б. Порфирины (исключая хлорофиллпорфирины) 175
В. Железопорфирины (гемы, гемины) 177
Г. Хлорофиллы и родственные пигменты 178
11. Каротиноиды 195
12. Регуляторы роста растений 200
13. Антиметаболиты, антибактериальные агенты и ингибиторы ферментов 209
А. Вещества, влияющие на нуклеиновые кислоты 209
Б. Ингибиторы синтеза белка и аналоги аминокислот 226
В. Вещества, влияющие на функции мембран 233
Поверхностно-активные вещества 233
Лектины 240
Ингибиторы транспорта 242
Ионофоры и родственные каналообразующие соединения 246
Г. Ингибиторы функций митохондрий и хлоропластов 251
Д. Ингибиторы синтеза и функция стероидов 261
Е. Другие ингибиторы ферментов 263
14. Фармакологически активные соединения 282
15. Синтетические и природные субстраты 293
А. Доноры, переносчики и акцепторы электронов 293
Б. Субстраты пептидаз 304
Определение активности пептидаз 304
В. Субстраты и индукторы гликозидаз 308
Г. Субстраты фосфатаз 311
Д. Субстраты эстераз и липаз 314
16. Биохимические реагенты 316
А. Протекторные реагенты 316
Б. Реагенты для модификации белков 319
17. Константы устойчивости комплексов металлов 334
А. Хелатирующие агенты 336
Б. Соединения, используемые в биохимических исследованиях и их способность связывать металлы 340
В. Нуклеотидные комплексы металлов 344
18. pH, буферные системы и физиологические среды 347
Стандартизация и измерения pH 347
Константы диссоциации кислот и оснований 347
Измерение pH. Общие замечания 347
Свойства буферных растворов. Общие замечания 348
Стандартные растворы (N. B. S.) для измерения pH при 0–95°C 350

Первичные стандарты . . . 350
Вторичные стандарты . . . 351
Буферные растворы для pH 1–13 . . . 354
Буферы для электрофореза . . . 369
Буферные системы для электрофореза на основе однозарядных ионов . . . 369
Кислотно-основные индикаторы . . . 372
Физиологические среды . . . 373
19. Гель-электрофорез . . . 376
Перекристаллизация акриламидов . . . 376
Краситель кумасси синий для белков . . . 376
Окрашивание белков солями серебра . . . 376
Окрашивание РНК . . . 376
Окрашивание ДНК бромидом этидия . . . 377
Флюорография пластин акриламидных гелей . . . 377
Литература по гель-электрофорезу . . . 377
20. Бумажная и тонкослойная хроматография в биохимии. Методики разделения . . . 379
1. Кислоты . . . 379
Летучие жирные кислоты . . . 379
Высшие жирные кислоты . . . 379
Определение кислот, участвующих в метаболизме углеводов . . . 380
Общие методы . . . 380
Кислоты и гидроксикислоты ароматического ряда . . . 381
Трикарбоновые кислоты . . . 381
2. Альдегиды и кетоны . . . 381
Обнаружение . . . 381
3. Амины . . . 382
Обнаружение. Общие методы . . . 382
Первичные амины . . . 382
Вторичные амины . . . 383
Третичные амины, четвертичные аммониевые соединения и алкалоиды . . . 383
Специальные методы . . . 383
Этаноламин . . . 384
Холин . . . 384
Эфиры холина . . . 384
Имиды глутаровой кислоты, карбаматы, уреиды . . . 384
о-Аминофенолы, индолы . . . 384
о-, *м*- и *п*-Аминофенолы . . . 384
Ароматические амины, сульфонамиды . . . 385
Индоламины . . . 386
Катехоламины . . . 386
Катехоламинтриацетаты . . . 388
4. Аминокислоты и пептиды . . . 388
Групповые реагенты . . . 389
D-Аминокислоты . . . 391
Специфические реагенты . . . 391
Тирозин . . . 391
Триптофан и родственные соединения . . . 392
Гистидин . . . 392
Фенилаланин . . . 393
Серусодержащие аминокислоты . . . 393
Глицин . . . 393
Аргинин . . . 393
Гуанидины . . . 393
Орнитин . . . 394
Иминокислоты (пролин и гидроксипролин) . . . 394
Многократное прокрашивание . . . 394
Производные аминокислот . . . 394

ДНФ-аминокислоты . . . 394
Фенилтиогидантоины и гидантоины . . . 394
«Дансил»-аминокислоты . . . 394
Пептиды . . . 394
5. Углеводы . . . 396
Общие методы . . . 396
Восстанавливающие сахара . . . 397
Альдозы . . . 399
Кетозы и пентозы . . . 400
Кетозоаминокислоты . . . 402
Сахароспирты, гликоли, дезоксисахара и гликали . . . 402
Сахарокислоты . . . 403
Гексозамины . . . 404
Полисахариды . . . 404
6. Тироксин и родственные соединения . . . 405
7. Липиды . . . 406
Общие реагенты для обнаружения методом опрыскивания или погружения . . . 406
Специальные растворы для обнаружения методом опрыскивания или погружения . . . 407
8. Фенолы и родственные соединения . . . 408
Обнаружение по окраске или флуоресценции . . . 408
Реагенты для введения заместителей . . . 409
Другие реагенты для замещения . . . 409
Окислители . . . 410
Хелатирующие агенты . . . 410
9. Эфиры фосфорной кислоты . . . 411
10. Пурины, пиримидины, нуклеозиды и нуклеотиды . . . 411
Общие методы . . . 412
Пурины . . . 412
Пиримидины . . . 412
Рибонуклеозиды . . . 413
Дезоксирибонуклеозиды . . . 413
Нуклеотиды . . . 413
Пиридиннуклеотиды . . . 413
Флавины . . . 413
11. Стероиды . . . 414
Ненасыщенные связи . . . 414
Кетоны . . . 414
Альдегиды . . . 415
Спирты . . . 415
Кислоты . . . 416
Эфиры и лактоны . . . 416
Фенолы . . . 416
Восстанавливающие центры . . . 417
'Огенные реакции . . . 417
Сапогенины . . . 418
Коньюгаты . . . 418
Другие определения . . . 419
12. Витамины . . . 422
Жирорастворимые витамины . . . 422
Витамин А . . . 422
Витамин D . . . 422
Витамин Е (токоферолы) . . . 423
Витамин К . . . 423
Водорастворимые витамины . . . 424
Тиамин и его производные . . . 424

Пиридоксин . . . 424
Никотиновая кислота и родственные соединения . . . 424
Пантотеновая кислота и ее производные (кофермент А) . . . 425
Инозит . . . 425
Аскорбиновая кислота . . . 425
21. Носители для ионообменной и аффинной хроматографии и гель-фильтрации . . . 427
1. Ионообменные смолы . . . 427
а) Анионообменные смолы . . . 428
б) Катионообменные смолы . . . 430
2. Ионообменники на основе целлюлозы . . . 433
а) Анионообменные смолы . . . 434
б) Катионообменные смолы . . . 436
3. Декстрановые и агарозные ионообменники . . . 437
4. Носители для гель-фильтрации . . . 439
а) Сефадексы и биогели марки Р . . . 439
б) Носители на основе гелей агарозы . . . 442
в) Сефакрил . . . 444
5. Аффинная хроматография . . . 444
А. Активированные агарозы . . . 446
Б. Агарозы с присоединенными спейсерами . . . 447
Лиганды, используемые в коммерчески доступных аффинных сорбентах . . . 451
22. Радиоактивные изотопы . . . 454
Определения . . . 454
Формулы и соотношения . . . 455
Некоторые радиоактивные изотопы, используемые в биохимических исследованиях 457
Поглощение β-частиц и γ-лучей . . . 458
Измерения методом сцинтилляций в жидкой фазе . . . 458
23. Биохимические методы . . . 461
1. Методики разделения белков . . . 461
2. Методы определения белка . . . 464
3. Методы количественного определения нуклеиновых кислот . . . 467
4. Растворы для создания градиента плотности . . . 468
5. Осадители белков . . . 472
24. Определения, формулы и понятия . . . 474
1. Концентрация и плотность концентрированных кислот и аммиака (приблизительные значения) . . . 474
2. Давление – температура (для автоклавов) . . . 474
3. Центрифужное поле (g) . . . 475
4. Спектрофотометрические понятия . . . 475
5. Оптическое вращение . . . 475
6. Окислительно-восстановительный потенциал . . . 476
7. Единицы ферментативной активности . . . 477
8. Растворимости газов. Коэффициенты Бунзена . . . 477
25. Атомные массы . . . 478
Предметный указатель . . . 481

Предисловие к русскому изданию

Перед читателем справочник, авторы которого Р. Досон, Д. Эллиотт, У. Эллиотт и К. Джонс – известные биохимики, крупные специалисты каждый в своей, но достаточно широкой области. Перед ними стояла сложная задача – обобщить накопленные бурно развивающейся в последние десятилетия биохимической наукой знания по основным классам соединений, включить также методики, нашедшие применение в биохимии и смежных ей областях химии, фармакологии, биоорганической химии, молекулярной биологии, агрохимии, энзимологии. По широте охватываемого материала это издание можно оценить как уникальное; неудивительно поэтому, что книга выдержала уже три издания на английском языке. Это прямое свидетельство и несомненного успеха авторов, и актуальности подобного издания, особенно возросшей в последнее время, когда к традиционным объектам биохимических исследований – продуктам природного происхождения – добавилось громадное число их синтетических аналогов, появилось множество новых методических приемов. Без добротного находящегося всегда под рукой справочника разобраться в огромном потоке современной биохимической информации было бы трудно даже опытному «узкому» специалисту, не говоря уже об армии исследователей, работающих в пограничных областях науки, на стыке биохимии с молекулярной биологией, агрохимией, фармакохимией, физиологией.

Предлагаемый «Справочник» может служить прекрасным пособием, отвечающим самым строгим требованиям к подобным изданиям. Большая заслуга авторов состоит в логичной, хотя и не совсем традиционной для справочника систематизации материала: она сделана с учетом прежде всего биохимических функций, что позволяет быстро находить описание соединений самых различных классов в интересующей читателя области. Не меньшее удовлетворение у читателя должен вызвать и тот факт, что авторы не просто ограничились перечислением многих соединений с описанием их химических и физико-химических свойств, но и в подавляющем большинстве случаев дали указания на оригинальные работы, где описаны биохимические свойства, методы выделения или синтеза; кроме того, по возможности приводятся способы применения в медицине, фармакологии, агрохимии и других областях. Особую ценность представляют уникальные в справочной литературе разделы по субстратам ферментов, ингибиторам биохимических процессов, биохимическим реагентам. В книгу вошли также очень важные для экспериментаторов разделы, касающиеся описания конкретных аналитических методик, методов приготовления растворов различных реагентов, буферных систем, физиологических сред; при этом многочисленные таблицы в этих разделах чрезвычайно облегчают практические лабораторные расчеты. Хотя справочник и не претендует на исчерпывающее представление всех сведений о химических соединениях, материалах и методах, вовлеченных «в орбиту» биохимических исследований, тем не менее он охватывает подавляющее большинство важнейших и наиболее часто используемых из них. Этой книгой можно пользоваться и как методическим руководством, и как учебным пособием для биохимических практикумов и, наконец, как сборником ценных лабораторных прописей для повседневной работы.

Публикация подобного справочного издания на русском языке давно стала насущной необходимостью. Вышедшие достаточно давно «Справочник по биохимии» (Калинин Ф. Л. и др.– Киев: Наукова думка, 1971) и «Биохимический справочник» (Кучеренко Н. Е. и др.– Киев: Вища школа, 1979) не только стали библиографической редкостью, но и сильно устарели и, кроме того, не охватывают новейших разделов биохимии. В процессе работы над переводом номенклатура химических соединений была приведена в соответствие с требованиями IUPAC, материал приведен в более компактной, но удобной для работы форме с соблюдением, где это было возможно, алфавитного порядка.

Нет сомнений в том, что «Справочник биохимика» займет достойное место на книжных полках научных библиотек и получит постоянную «прописку» во многих научных и учебных лабораториях биохимиков, биооргаников, молекулярных биологов, генетиков, иммунологов, работающих как в фундаментальных, так и прикладных областях науки.

Чл.-корр. АН СССР

Предисловие

При подготовке третьего издания мы вновь имели своей целью обеспечение биохимиков обходимой информацией в достаточно краткой форме так, чтобы это было удобно для пользования в каждой лаборатории. Мы не делали попыток охватить все. Основной подход при боре материала – его полезность как можно большему числу читателей. Фактически мы пытались рассмотреть только основные направления, представляющие интерес для любого охимика. При таком подходе довольно обширный материал, используемый специалистами в дивидуальных исследованиях, исключается; однако по узкой тематике нетрудно получить дробные сведения по другим источникам информации. Между двумя крайними случаями, когда нигу включался общеупотребительный материал (например данные по буферным растворам), исключался такой, в котором нуждаются немногие читатели (например, данные по редко гречающимся метаболитам), находилась промежуточная область чисто субъективных решений и отборе материала. Естественно, что такие решения не могут удовлетворять всем практи-жим ситуациям, но нас вдохновляли длительный читательский интерес к книге и высокий спрос предыдущее издание, что свидетельствует о правильности нашего подхода, обеспечивающего альные нужды лабораторий.

В настоящее издание по сравнению с более ранними какой-то материал был или вообще не лючен, или обновлен; справочник был также дополнен актуальными для биохимиков и олекулярных биологов данными. Благодаря коммерческой доступности некоторых биохи-ческих препаратов были опущены методики получения многих соединений, так как читатель перь уже не нуждался в таком описании; с развитием прецизионных методов выделения отпала кже необходимость в приведении здесь методик анализа многих веществ. Литература цити-ется только там, где она может пригодиться. Вещества в таблицах следуют алфавитному рядку, как и в предыдущих изданиях; однако особое значение придается их объединению по нкциям в разделы, поэтому читатель, с одной стороны, может оценить представительность равочника по числу охваченных веществ, а с другой – легко найти индивидуальные соединения.

Очень многие разделы нами были переработаны с привлечением такого большого числа ших коллег, что просто невозможно здесь назвать их всех; некоторые разделы были в очень ачительной степени переработаны специалистами, о чем мы скажем ниже. Заметим, однако, что ончательный отбор и представление материала всегда делались нами, авторами,и, следо-гельно, только мы и несем всю ответственность за упущения и недостатки книги. В этом дании не указаны авторы разделов, так как в связи с исправлениями и перестановками териала трудно теперь связать определенный раздел с именем какого-то одного автора. Мы гим еще раз поблагодарить тех, кто внес свой вклад в предыдущие издания, положенные в нову настоящей книги.

Мы глубоко благодарны за по́мощь при подготовке настоящего издания Р. Симарку (разд. 9 'тероиды»), Дж. Баррату (разд. 10 «Порфирины и родственные соединения»), Н. М. К. Кайе изд. 16, Б «Реагенты для модификации белков»), Д. Перрин (разд. 17 «Константы устойчивости мплексов металлов»), Р. Симонсу (разд. 19 «Гель-электрофорез»).

Авторы

Как пользоваться книгой

I. О таблицах биохимических соединений и сводном предметном указателе соединений.

1) *Сведения о биохимических соединениях* приведены в таблицах; соединения в разделы сгруппированы по типам. В некоторых случаях помещение соединения в данную главу может быть спорным. Имеется довольно много перекрестных ссылок на таблицы других разделов, а также указаны синонимы, используемые в других разделах; сводный предметный указатель включает все соединения и их наиболее используемые синонимы. Настоятельно рекомендуется пользоваться указателем при выяснении, включено ли интересующее соединение в таблицы и в какие именно разделы.

2) *Температуры плавления и кипения.* Если специально не оговорено, значения приведены для давления 760 мм рт. ст.

3) *Величины оптического вращения.* Оптическая активность охарактеризована данными по удельному вращению (обычно для D-линии натрия); температура измерения указаиа в виде верхнего индекса. Если данные относятся к другим длинам волн, то длина волны (Å) указана с помощью нижнего индекса. Концентрация вещества, если такие данные приводятся, указана в граммах на 100 мл.

4) *Растворимость.* Эти данные указаны в граммах вещества на 100 мл растворителя. Температура, при которой определялась растворимость, приведена в верхнем индексе; при отсутствии этого индекса данные относятся к комнатной температуре, т. е. 15–25°C.

II. Литературные источники

Указание литературных источников имеет целью помочь читателю (а не отдать должное ведущим исследователям в соответствующей области). Как правило, не приводятся ссылки на методы получения тех веществ, которые легко могут быть приобретены за небольшую цену. Для названий журналов и книг использованы следующие сокращения (авторы работы опущены):

ABB	Archieves of Biochemistry and Biophysics
Ann	Liebig's Annalen der Chemie.
ARB	Annual Review of Biochemistry
BBA	Biochimica et Biophysica Acta
BBRC	Biochemical and Biophysical Research Communications
Ber.	Chemische Berichte (go 1947 Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft)
Biochem. Preps.	Biochemical Preparations (Wiley and Sons Inc., New York)
BJ	Biochemical Journal
BZ	Biochemische Zeitschrift
EJB	European Journal of Biochemistry
JACS	Journal of the American Chemical Society
JBC	Journal of Biological Chemistry
JCS	Journal of the Chemical Society
JMB	Journal of Molecular Biology
Meth. Biochem. Anal.	Methods of Biochemical Analysis, ed. D. Glick (Wiley-Interscience Inc., N. Y.)
Meth. Enzymol.	Methods in Enzymology, ed. S. P. Colowick and N. O. Kaplan (Academic Press)
PNARMB	Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology
PNAS	Proceedings of the National Academy of Sciences

Принятые сокращения

абс.– абсолютный
аморф.– аморфный
анал.– анализ, аналитический
атм – атмосфера (ед. измерения)
атм.– атмосфера
ац.– ацетон
$[\alpha]_D^t$ – удельное оптическое вращение для D-линии натрия при температуре *t*
безводн.– безводный
бел.– белый
бенз.– бензол
бесцв.– бесцветный
биол.– биологический
в т. ч.– в том числе
в-во – вещество
в. б.– внутрибрюшинный
в. в.– внутривенный
в. м.– внутримышечный
водн.– водный
возд.– воздух
воспламен.– воспламеняется
выд.– выделенный, выделение
выветр. – выветривающиеся
вязк.– вязкий
газ.– газовый
ГЖХ – газожидкостная хроматография
гекс.– гексагональный
гигр.– гигроскопичный
гидрол.– гидролиз, гидролизуется
гл.– глава
гл. обр.– главным образом
гор.– горячий
гр.– группа
давл.– давление
диам.– диаметр
диморф.– диморфный
добавл.– добавление
ДМСО – диметилсульфооксид
ДМФА – диметилформамид
диморф.– диморфный
доп.– дополнительный
др.– другие
ед.– единица(ы)
желт.– желтый
ж. к. т.– желудочно-кишечный тракт
жидк.– жидкость, жидкий
завис.– зависимость
значит.– значительный, значительно
идент.– идентификация
ИК – инфракрасный
инерт.– инертный
исп.– испарять(ся), испарение
использ.– использование
кисл.– кислый, кислота
кол-во(а) – количество(а)
комн. т.– комнатная температура
конк.– конкурентный
конц.– концентрация, концентрированный
крист.– кристаллы, кристаллический, кристаллизация
лед.– лед, ледяная
м.– мало
M – молекулярная масса
медл.– медленно
мес – месяц
м./м.– масса на массу
м./об.– масса на объем
м. р.– малорастворимый
минер.– минеральный
мон.– моноклинный
max – максимум
min – минимум
нагрев. – нагревание, нагревать
нас.– насыщенный
напр.– например
нед – неделя
нейтр.– нейтральный
неорг.– неорганический
непоср.– непосредственно
неуст.– неустойчив
н. р.– нерастворимый
об.– объем
об./об.– объем на объем
окисл.– окисление, окисляется
опр.– определение
опт.– оптимум, оптимальный
орг.– органический
орторомб.– орторомбический
ос.– осадок
особ.– особенно
отн.– относительно
о.– очень
о. п. р.– очень плохо растворим
оч.– очистка
пар.– паровой
пат.– патологический
перекр.– перекристаллизовать
пересыщ.– пересыщенный
петр. эф.– петролейный эфир
пир.– пиридин

. к.– подкожный
л.– плечо
лотн.– плотность
огл.– поглощение
олуч.– получение, получается
ракт.– практически
реп.– препарат
рибл.– приблизительно
ризм.– призматический
роизв.– производное
рям.– прямоугольный
.– растворим
азб.– разбавленный
азл.– разлагается, с разложением (после $t_{пл}$ ли $t_{кип}$)
аспл.– расплывающийся
аст.– растительный
аств.– раствор, растворимый
аств-ль(и)– растворитель(и)
аств-сть– растворимость
-ция– реакция
омб.– ромбический
(сс.)– страница(ы)
– концентрация (г/100 мл)
льн.– сильный
нт.– синтез
л.– слабый
ед.– следы
меш.– смешивающийся
м.– смотри
).– сравни, сравнительно
/бл.– сублимация, сублимирует
тв.– твердый
темп.– температура
т. к.– так как
ТСХ– тонкослойная хроматография
тол.– толуол
т.– точка
трикл.– триклинный
$t_{зам}$ – температура замерзания, °С
$t_{кип}$ – температура кипения, °С
$t_{пл}$ – температура плавления, °С
$t_{разл}$ – температура разложения, °С
укс.– уксусная
ум.– уменьшается
усл.– условия
уст.– устойчив
УФ– ультрафиолетовый
флуор.– флуоресценция (A – максимум возбуждения; F – максимум флуоресценции)
хол.– холодный, на холоду
х. р.– хорошо растворим
хроматограф.– хроматография, хроматографический
ц. н. с.– центральная нервная система
ч– час
чувств.– чувствительность
щел.– щелочной, щелочь
экв.– эквивалентный
эксп.– экспериментальный
экстр.– экстрагированный
эф.– диэтиловый эфир
яд.– ядовитый
∞ – неограниченно смешивающийся

1. Аминокислоты, амины, амиды, пептиды и их производные

Оптически активные соединения. Включены сведения о соединениях, обнаруживающих оптический изомеризм (оптических изомерах, т. е. энантиомерах и рацемических (DL-) смесях), а также *алло-* и *мезо*-изомерах. Как правило, подробно приведены свойства только одного оптического изомера, обычно наиболее распространенного в природе. Свойства другого изомера аналогичны, *за исключением* того, что знак оптического вращения противоположен.

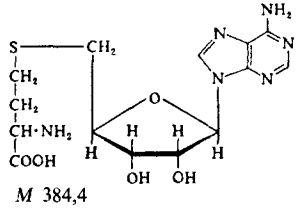
Пептиды. Включено несколько физиологически активных пептидов. Пептиды, используемые в качестве субстратов для определения активности пептидаз, включены в разд. 15 «Искусственные и природные субстраты».

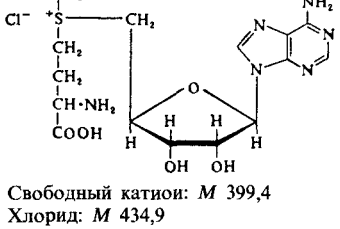
Литература.

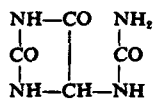
Greenstein J. P. Winitz M. Chemistry of the amino acids, 3 volumes, Wiley, 1961.
Meister A. Biochemistry of the amino acids, 2 volumes, Academic Press, 1965.

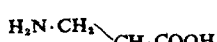
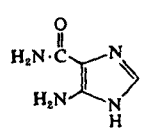
Номенклатура. Номенклатурные правила для α-аминокислот см. в [BJ **149**, 1 (1975); Biochem. **14**, 449 (1975)]. Символы для производных аминокислот и пептидов см. в [BJ **126**, 773 (1972); EJB **27**, 201 (1972); JBC **247**, 977 (1972)].

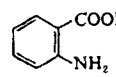
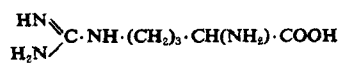
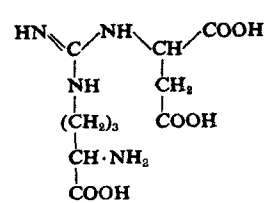
pK_a (в скобках температура, °C). Большинство данных взято из работ [*Perrin D. D.* Dissociation constants of organic bases in aqueous solution, Butterworths, 1965; *Perrin D. D.* Dissociation constants of organic bases in aqueous solution: Supplement 1972, Butterworths, 1972].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
S-Аденозилгомоцистеин (5′-S-(3-амино-3-карбоксипропил)-5′-тиоаденозин; S-(5′-дезоксиаденозин-5′)гомоцистеин)	 *M* 384,4	DL: маленькие призмы. L: бесцв. сросшиеся иглы. $t_{пл}$ 210. $[\alpha]_D^{25}$ 37 ($c = 1{,}3$ в 0,05 M H_2SO_4). $[\alpha]_D^{23}$ + 44,5 ($c = 1$ в 0,05 M HCl). Раств-сть: р. гор. H_2O; м. р. хол. H_2O, EtOH; о. п. р. эф. Медл. окисл. до сульфоксида в тв. состоянии и в раств., от окисл. предохраняют добавки дитиогликоля. Хранят в тв. виде в атм. инерт. газа при низкой темп. Гидрол. в кисл. раств., напр. 0,1 M HCl, 100°C, 90 мин, до S-рибозилгомоцистеина. Не гидрол. в нейтр. или щел. раств., напр. уст. в 0,1 NaOH, комн. т. 10 мин; быстрее окисл. в щел. раств. Нейтр. раств., содержащие дитиогликоль, при комн. т. уст. длительное время. Спектр: при pH 7 λ_{max} 260 нм, ε 16000. Получ. и оч. см. [Anal. Biochem. **15**, 323 (1966); **35**, 505 (1970); Biochem. Preps. **8**, 8 (1961); J. Org. Chem.

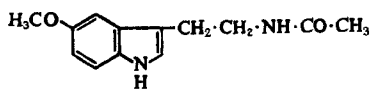
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
S-Аденозилметионин (активный метионин; SAM; 5′-[(3-амино-3-карбоксипропил)метилсульфоний]-5′-дезоксиаденозин; S-(5′-дезоксиаденозин-5′)метионин)	 Свободный катион: *M* 399,4 Хлорид: *M* 434,9 Бромид: *M* 479,3 Иодид: *M* 526,4 Кислый сульфат: *M* 496,5	Соли: крист. тв. в-ва. Хлорид и гигр.; иодид о. м. гигр. L-Хлор 118 ÷ 122 (разл.) $[\alpha]_D^{24}$ +48,5 в 5 M HCl). Бромид: $[\alpha]_D^{24}$ L ($c = 1$ в H_2O). Раств-сть: L-хлор MeOH при pH 2; р. H_2O; м. р. при pH 6; кислый сульфат х. р Неуст. во многих усл., вероятн сутствие примесей, если не п особые меры предосторожнос галогениды неуст., иодид при 3° на 12% в течение 1 нед, при 2 30%, стабилизируется при доба логенидов Li (10–20%). В тв. сос устойчивы кислый сульфат (при 6 мес разл. <3%) и дисульфа толуолсульфоната. Отн. уст. раств., о. неуст. в щел. При pH за 1 нед. разл. 14%, более уст. в кисл., напр. 1 M HCl или 6 M Полн. разл. в 0,1 M NaOH при к за 10 мин. Медл. разл. при ней напр. при pH 6,6 и 30°C за 24 10%, при pH 7,8 32%, при pH 8. Хранят в виде раств. с pH 2,5 $\leqslant -20$°C, но не более 1 мес. можно нагрев. только непоср. использ. и нельзя смешивать с раств. до самого последнего мо в анал. методиках р-ции иниц преимущественно путем добавл нозилметионина. Спектр: при pH 260 нм, ε 15400, при pH 1 λ_{max} ε 15200. Известны 4 стереоиз природное соединение – L-изоме лерод), (−)-изомер (сульфо центр) [JACS **81**, 3975 (1959)]. и оч. см. [JBC **244**, 682 (1969). Enzymol. **17B**, 393 (1971); Anal. B **15**, 323 (1966)].
D-Адреиалин (4-[1-гидрокси-2-(метиламино)этил]-1,2-бенздиол; 1-(3,4-дигидроксифенил)-2-метиламиноэтанол; эпинефрин; супраренин)	 *M* 183,2	Бел. крист. тв. в-во. $t_{пл}$ 21 (разл.) $[\alpha]_D^t$ $-53{,}2^{22 \div 25}$ ($c = 1{,}$ M HCl); $-50{,}6^{17}$ ($c = 7{,}5$ в 0,37 M pK_a 8,66 (NH); 9,95 (OH). Раств лед. укс. кисл., минер. кисл., ще H_2O, EtOH; н. р. эф., ац., $CHCl_3$ патомиметический агент, действ гл. обр. на сердце и сосуды гладкие мышцы. Главный мозгового слоя надпочечников, щий гл. обр. на метаболизм глю жирных кисл. Природный адре D-изомер (по D-миндальной [JCS **1958**, 2069]. Неуст. в водн. при щел. pH и при нагрев. Ср. у pH 5 на хол. Водн. раств. имеет щел. реакцию. В тв. виде на и свету медл. коричневеет.

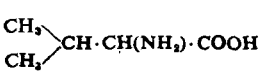
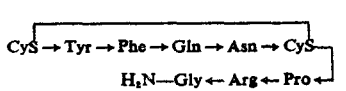
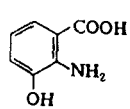
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Аланин (2-аминопропионовая кислота; Ala)	$CH_3CH(NH_2)COOH$ *M* 89,1	Иглы или призмы. Сублим. >200°C. $[\alpha]_D^{25}$ L +14,6 (*c* = 2,0 в 5 M HCl); +1,8 (*c* = 2,0 в H_2O). pK_a 2,35; 9,87. Раств-сть: DL: $16,6^{25}$; $32,2^{75}$ H_2O; $0,084^{25}$ 90%-ный EtOH; $0,0087^{25}$ EtOH; н. р. эф.; L: $16,65^{25}$; $28,5^{75}$ H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф., ац. L-Гидрохлорид: призмы; разл. 204; $[\alpha]_D^{26}$ +8,5 (*c* = 9,3 в H_2O).
β-Аланин (3-аминопропионовая кислота)	$H_2NCH_2CH_2COOH$ *M* 89,1	Бесцв. призмы. $t_{пл}$ 207 (разл.). Разл. 199. Сублим. pK_a 3,55; 10,24. Раств-сть: $54,5^{25}$ H_2O; $0,017^{25}$ EtOH; н. р. эф., ац., $CHCl_3$. Разл. в щел. при 37°C, давая аммиак и акриловую кисл. Моногидрохлорид: $t_{пл}$ 122,5; р. H_2O, м. р. EtOH.
Аллантоин (5-уреидогидантоин)	 *M* 158,1	Бел. призмы или пластинки. $t_{пл}$ 238. pK_a 8,96. Раств-сть: $0,76^{22}$ H_2O; 3,3 гор. H_2O; 0,2 EtOH; н. р. эф. Щел. гидр. до аллантоиновой кисл., которая в разб. щел. не меняется, но в 0,05 M HCl при 100°C за 2 мии гидр. до глиоксиловой кисл. и мочевины. pH нас. водн. раств. 5,5.
2-Аминоадипиновая кислота (2-аминогексаидиовая кислота; α-аминоадипиновая кислота)	$HOOC(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$ *M* 161,2	Крист. тв. в-во. DL: $t_{пл}$ сильно варьирует; 165 ÷ 202 (разл.). L: 206 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L +3,2 (*c* = 2 в H_2O); +25,0 (*c* = 2 в 5 M HCl). pK_a 2,14; 4,21; 9,77. Раств-сть: $0,22^{40}$ H_2O; м. р. EtOH, эф. Свободная кисл. циклизуется в кипящей H_2O до пиперидонкарбоиовой кисл.: DL $t_{пл}$ 177 ÷ 178; D $[\alpha]_D^{25}$ −16,5 (*c* = 2 в H_2O); −41,5 (*c* = 2 в 6 M HCl). Синт. DL, D и L см. [Anal. Biochem. **43**, 282 (1971); **55**, 411 (1973)].
Аминоацил-транспортная РНК (аминоацил-тРНК)	тРНК с аминоацильной группой, присоединенной к 2′- или 3′-гидроксильной группе концевого остатка аденозина. Аминоацильная группа быстро мигрирует между 2′- и 3′-положениями, причем каждый изомер имеет период полупревращения ⩽1 мс. Равновесная смесь содержит 2′- и 3′-изомеры в соотношении 1 : 2.	Бел. аморф. порошок; гигр. Раств-сть: р. H_2O, 1 M NaCl; н. р. EtOH. Аминоацил-тРНК получ. в результате р-ции между аминокислотами, ATP и тРНК, катализируемой аминоацил-тРНК-синтетазами (ферментами, активирующими аминокислоты). Методы получ. смешанных и индивидуальных тРНК, синтетаз и аминоацил-тРНК см. в [Meth. Enzymol. Vols. 6, 12 A, 12 B, 20, 29, 30, 59 и 60]. Аминоацил-тРНК при pH >6 быстро гидр. до аминокислоты и тРНК; период полупревращения в 0,1 M трис-буфере (pH 8,6) при 37°C 2–65 мин в завис. от природы аминокислотного остатка. Скорость гидр. увел. при щел. pH (трис-буфер), с увел. темп. или ионной силы, уменьш. при ацилировании аминогруппы аминокислоты [BBA **281**, 228 (1971); Biochim. **56**, 383 (1974)]. Аминоацильные гр. полн. удаляются 1–2 M трисом (pH 9–9,5) за 30–120 мин

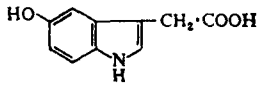
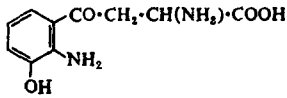
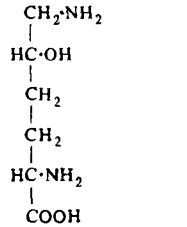
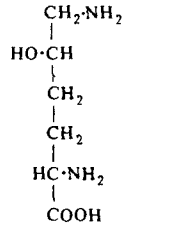
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		при 37°C. Аминоацил-тРНК хранят в раств. или лиофилизованными при $\leqslant -20$°C и pH 5. Спектр, как у РНК; A_{260} 22–24 для 1 мг/мл раств.
2-Аминоизомасляная кислота (α-амииоизомасляная кислота; α-метилаланин; 2-амино-2-метилпропионовая кислота)	 *M* 103,1	Бесцв. пластинки или призмы. Субл. 280. $t_{пл}$ 335 (в запаянной трубке). pK_a (25°C) 2,36; 10,21. Раств-сть: 13,72[25] H_2O; 0,483[25] 80%-ный EtOH; и. р. эф. Гидрохлорид: пластинки; разл. 236–237; р. H_2O, EtOH,
3-Аминоизомасляная кислота (α-метил-β-аланин; β-аминоизомасляная кислота; 3-амино-2-метилпропионовая кислота)	 *M* 103,1	(±): бесцв. призмы. $t_{пл}$ 177 ÷ 179. (−): пластинки. $t_{пл}$ 194 ÷ 196. $[\alpha]_D^5$ (−) −15,4[27] ($c = 1$ в H_2O) Раств-сть: р. H_2O. Субл. Гидрохлорид: (±); $t_{пл}$ 128 ÷ 129; (−), $t_{пл}$ 134 ÷ 138, $[\alpha]_D^{24}$ −10,7 ($c = 1$ в H_2O). (−)-изомер найден в моче. (+)-изомер (но не (−)) утилизируется дрожжами. Абс. конфигурация см. [JBC **236**, 3283 (1961)]. Получ. (±) см. [Biochem. Preps. **7**, 20 (1960)]; (−) [Anal. Biochem. **57**, 82 (1974)].
5-Аминоимидазол-4-карбоксамид (5-амино-1H-имидазол-4-карбоксамид, AICA)	 *M* 126,1 Гидрохлорид: *M* 162,6	Бел. иглы. $t_{пл}$ 170 ÷ 171, Гидрохлорид: бел. иглы. $t_{пл}$ 255 ÷ 256 (разл.). Раств-сть: р. H_2O. Спектр: при pH 1 λ_{max} 240 нм (ε 9050) и 267 нм (ε 11200); при pH 7 266 нм (ε 12700); при pH 13 277 нм (ε 12500). Хромофор Браттоиа – Маршалла, λ_{max} 540 нм (ε 26400). Рибозид (5-амино-1-(β-D-рибофуранозил(имидазол-4-карбоксамид): бел. иглы; $t_{пл}$ 215 ÷ 216; $[\alpha]_D^{26}$ −63,0 ($c = 1$ в H_2O). Спектр: λ_{max} 267 нм (ε 11000) (pH 2), 12200 (pH 7), 12600 (pH 10,5).
5-Амиволевулиновая кислота (5-амино-4-оксопентановая кислота; δ-аминолевулиновая кислота)	$HOOCCH_2CH_2COCH_2NH_2$ *M* 131,1 Гидрохлорид: *M* 167,6	Крист. $t_{пл}$ 118 ÷ 119. Гидрохлорид: $t_{пл}$ 144 ÷ 151. pK_a 4,05; 8,90. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; о. п. р. Et-ацетат. Спектр: λ_{max} 266,5 нм, ε 23,0. В щел. образует 2,5-дизамещенный пиразин. Синт. см. [Biochem. Preps. **10**, 6 (1963)].
2-Аминомасляная кислота (α-аминомасляная кислота; 2-амиибутановая кислота; бутирин)	$CH_3CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 103,1	Листочки. Субл. >300. $[\alpha]_D^{25}$ L +20,6 ($c = 1 \div 2$ в 5 M HCl); +9,3 ($c = 1 \div 2$ в H_2O). pK_a 2,29; 9,83. Раств-сть: DL 28 H_2O; 0,18[78] EtOH; н. р. эф. L р. H_2O, лед. укс. кисл.; м. р. EtOH, эф. L-Гидрохлорид: иглы. $[\alpha]_D^{19}$ +12,9 ($c = 3,64$ в H_2O); р. H_2O.
4-Аминомасляная кислота (γ-аминомасляяая кислота; пиперидиновая кислота; 4-аминобутановая кислота; ГАМК)	$H_2NCH_2CH_2CH_2COOH$ *M* 103,1	Моиокл. таблички, пластинки или иглы. $t_{пл}$ 203 (разл.). pK_a 4,03; 10,56. Раств-сть: о. х. р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф., бенз. Тормозный иейромедиатор ц. н. с. млекопитающих и нейро-мышечных соединений ракообразных. Действие блокируется пикротоксином.

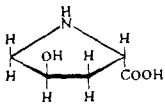
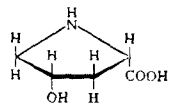
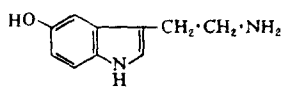
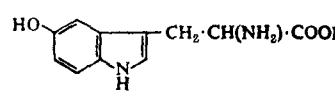
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		Моногидрохлорид: $t_{пл}$ 135 ÷ 136; х. р. H_2O.
Ангиотензин (гипертеизин; аигиотонии)	Asp-Arg-Val-Tyr-Ile-His-Pro-Phe (ангиотензин II) II: *M* 1046 Asp-Arg-Val-Tyr-Ile-His-Pro-Phe-His-Leu (ангиотензин I) I: *M* 1297 Приведены последовательности ангиотензинов человека, свиньи и лошади; у быка Ile^5 замещен на Val.	Раств-сть: р. H_2O, водн. раств. при pH 5–8, EtOH. Ангиотензин II – наиболее активная форма; ангиотензин I обладает гораздо более низкой активностью. Повышает кровяное давл. (прессорный эффект), вызывая сокращение скелетиых, брыжеечных и надпочечных сосудов; стимулирует секрецию альдостерона надпочечниками. Ангиотензин I образуется в результате действия ренина (протеолитического фермента) иа ангиотензиноген в плазме и превращается в ангиотензин II специальиым ферментом, который удаляет С-концевой дипептид. Ангиотензин II в крови и тканях сохраияется лишь кратковременно из-за дальнейшей деградации пептидазами. Уст. в нейтр. раств. Гидр. сильн. кисл. и при pH >9,5. Адсорбируется на стекле из разб. раств.
Антраниловая кислота (*о*-аминобензойная кислота)	 *M* 137,1	Листочки (бел. до св.-желт.). $t_{пл}$ 146 ÷ 149. pK_a 2,05; 4,95. Раств-сть: $0,35^{14}$ H_2O; р. гор. H_2O; $10,7^{9}$ EtOH; $16,0^{7}$ эф. Спектр: при pH 7 λ_{max} 310 нм.
Аргинин (2-амино-5-гуанидиновалериановая кислота; 2-амино-5-гуанидинопентановая кислота; N-5-амидиноорииитин; Arg)	 *M* 174,2 Гидрат: *M* 210,2	DL: $t_{пл}$ 238 (разл.). L: призмы $+2H_2O$ из H_2O; безводн. пластинки из EtOH. Разл. 244. α_D^{25} L +27,6 (c = 2,0 в 5 М HCl); +12,5 (c = 2,0 в H_2O). pK_a 1,82 (COOH); 8,99 (NH_2); 12,48 (гуанидиновая гр.). Раств-сть: L : 15^{21} H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф. Потеря Arg происходит прн гидр. белка в присутствии сахара. Неуст. в гор. щел. Дигидрат теряет H_2O при 105°C. Гидрохлорид (L): разл. 235; р. H_2O; м. р. гор. EtOH.
L-Аргининянтарная кислота (N-[[(4-амино-4-карбоксибутил)амино]иминометил]-L-аспарагиновая кислота)	 *M* 290,3	О. гигр. порошок. Ва-соль: аморфный порошок. α_D^{24} +16,4 (c = 2,9 в H_2O); +26,6 (c = 2,9 в 0,5 М NaOH). pK_a 1,62 (COOH); 2,70 (COOH); 4,26 (COOH); 9,58 (α-NH_2); >12 (гуанидиновая гр.). Раств-сть: х. р. H_2O; Ва-соль: х. р. H_2O; н. р. EtOH. Образует энзиматически неактивный ангидрид (р. H_2O, EtOH), особ. быстро при нагрев. или кисл. pH; ангидрид медл. гидр. до аргининянтарной кисл. в мягких щел. усл. Прн нагрев. образуются небольшие кол-ва второго ангидрида, который не может опять превращаться в аргининянтарную кисл. Некоторое кол-во разл., особ. при нейтр. pH и высокой темп. [BJ **77**, 135 (1960); Biochem. **5**, 1821 (1966)]. Свободная

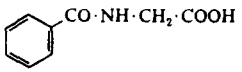
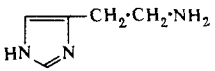
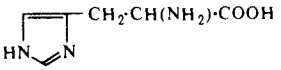
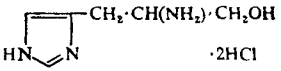
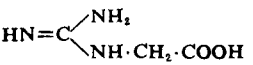
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		аминокислота и ее Ba-соль уст. в течение многих мес. в тв. сухом состоянии при 0°C. Нейтр. водн. раств. не циклизуются в заметной степени в течение нескольких нед. при −18°C. Синт. см. [JBC, **204**, 95 (1953); Biochem. **5**, 1821 (1966)].
Аспарагин (полуамид 2-аминоянтарной кислоты; β-моиоамид аспарагиновой кислоты; Asn)	$H_2NCOCH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 132,1 Гидрат: *M* 150,1	DL: бесцв. крист. +1 H_2O. L: бесцв. крист. +1 H_2O; $t_{пл}$ 236 (разл.). α_D^{25} L +28,6 ($c = 2$ в 1 M HCl); −5,6 ($c = 2$ в H_2O). pK_a 2,14; 8,72. Раств-сть: DL-моногидрат $2,16^{25}$ H_2O; н. р. EtOH, эф.; L-моногидрат: $2,99^{25}$, $24,1^{75}$ H_2O; $0,0003^{25}$ EtOH; р. NH_4OH; н. р. эф. Уст. при 100°C в H_2O. 23% гидр. при 100°C в 5%-ной H_2SO_4 за 5 мин.
Аспарагиновая кислота (2-аминоянтарная кислота; Asp)	$HOOCCH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 133,1	Бесцв. крист. DL: $t_{пл}$ 278 ÷ 280. L: $t_{пл}$ 269 ÷ 271. α_D^{25} L +25,4 ($c = 2$ в 5 M HCl); +5,05 ($c = 2$ в H_2O). pK_a 1,99; 3,90; 9,90. Раств-сть: DL $0,82^{25}$, $4,79^{75}$ H_2O; $0,032^{25}$ 75%-ный EtOH; н. р. эф. L: $0,5^{25}$, $2,87^{75}$ H_2O; $0,00016^{25}$ EtOH; н. р. эф. Уст. к гор. минер. кисл. в присутствии сахаров. N-Ацетил-L-аспарагиновая кисл: масло, медл. превращающееся в микрокрист.; $t_{пл}$ 142; $[\alpha]_D$ +57 (в лед. укс. кисл); х. р. H_2O.
Аспарагиновый полуальдегид (2-амино-4-оксобутановая кислота)	$OHCCH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 117,1	Тв. в-во. Раств-сть: р. H_2O, минер. кисл. Неуст. в сухом тв. состоянии и в нейтр. раств. Раств. в HCl (0,25–4 M) уст. по крайней мере несколько сут. при ⩽4°C предпочтительно в атм. инертн. газа. Уст. в течение 1 ч при 37°C и pH 8,6. Реагирует с трисом. Получ. см. [JBC **213**, 39 (1955); **249**, 6351 (1974)].
Ацетамид (этанамид)	CH_3CONH_2 *M* 59,1	Бесцв. распл. крист. $t_{пл}$ 81–83. $t_{кип}$ 222. Раств-сть: $97,5^{20}$, 178^{60} H_2O, $25,0^{20}$, $257,1^{60}$ EtOH, о. х. р. глицерин; р. $CHCl_3$; м. р. эф. В очищенном виде без запаха, но часто имеет мышиный запах. Раств. имеет нейтр. р-цию. Может адсорбироваться на катионообменных смолах [Naturwiss. **42**, 580 (1955)].
N-Ацетилглутаминовая кислота	$HOOC \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot \underset{\displaystyle NH \cdot CO \cdot CH_3}{\underset{\vert}{CH}} \cdot COOH$ *M* 189,2	L: крист. $t_{пл}$ 199. $[\alpha]_D^{25}$ L −16,6 ($c = 2$ в H_2O); +3,9 ($c = 2$ в 1 M NaOH). Раств-сть: р. H_2O, щел., гор. EtOH.
Ацетил-β-метилхолинхлорид (метахолинхлорид; N-(2-ацетоксипропил)-N,N,N-триметиламмонийхлорид)	$(CH_3)_3\overset{+}{N}\underset{Cl^-}{}CH_2CH(CH_3)OCOCH_3$ Хлорид: *M* 195,7 Бромид: *M* 240,2 Иодид: *M* 287,1	Хлорид: сильно распл. иглоподобные крист. $t_{пл}$ 172 ÷ 173. Бромид: гигр. крист. $t_{пл}$ 147 ÷ 149. Иодид: негигр. крист. $t_{пл}$ 138 ÷ 139,5. $[\alpha]_D^{22,5}$ L +27,0 ($c = 2$ иодида в 90%-ном EtOH). Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; р. $CHCl_3$; н. р. эф.

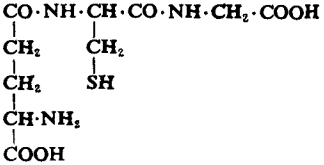
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		Парасимпатомиметический агент; проявляет гл. обр. мускариноподобное действие, особ. на сердечно-сосудистую систему, никотиноподобное действие незначительно. Действие более продолжительное, чем у ацетилхолина из-за меньшей чувствительности к холинэстеразам. Биол. активность имеет L-изомер. Быстро разл. щел. Водн. раств. слабокисл. (pH ~5), при стоянии медл. разл.; при 0–4°C следует хранить ≤2 нед. Хранить в тв. виде, без доступа возд. в защищенном от света месте. Иодид желтеет на возд. и свету.
N-Ацетил-5-метокситриптамин (мелатонин; N-[2-(5-метокси-1 H-индолил-3)-этил]-ацетамид)	 *M* 232,3	Св.-желт. листочки. $t_{пл}$ 116 ÷ 118. Субл. Раств-сть: р. EtOH; м. р. H_2O, бенз.; о. п. р. петр. эф. Вырабатывается в шишковидной железе (эпифизе) млекопитающих. Осветляет цвет кожи путем снятия (обращения) действия меланотропина (MSH). λ_{max} (в 95%-ном EtOH) 223 нм (ε 27500) и 278 нм (ε 6300).
Ацетилхолин (ACh; соль N-2-ацетоксиэтил-N,N,N-триметиламмония)	$(CH_3)_3\overset{+}{N}CH_2CH_2OCOCH_3$ X^- Свободное основание (гидроксид): *M* 163,2 Хлорид: *M* 181,7 Бромид: *M* 226,1 Иодид: *M* 273,1	Хлорид: о. гигр. иглы или призмы. $t_{пл}$ 149 ÷ 152. Сл. запах амина, остросоленый вкус. Бромид: гигр. призмы. $t_{пл}$ 143. Иодид: негигр. крист. $t_{пл}$ 161. Раств-сть (хлорид, бромид, иодид): х. р. H_2O, EtOH; р. $CHCl_3$; н. р. эф., бенз. Нейромедиатор в синапсах и нейроэффекторных соединениях, парасимпатомиметический агент. Действует как медиатор холинергических нервных волокон. Действие кратковременное из-за быстрого разрушения холинэстеразами, удлиняется в присутствии ингибиторов холинэстераз. «Никотиноподобное» действие блокируется никотином, гексаметонием или *d*-тубокурарином (в автономных ганглиях) и декаметонием или *d*-тубокурарином (скелетная мышца). «Мускариноподобное» действие (на гладкие мышцы и мышцы сердца, секрецию экзокринных желез) блокируется атропином. Водн. раств. имеет слабокисл. р-цию (pH ~5) и более уст. при pH 4; разл. при щел. pH или при нагрев. при нейтр. pH. Реагирует с гидроксиламином с образованием ацетгидроксамовой кисл.
Бетаин (глицинбетаин; N-карбоксиметил-N,N,N-триметиламмонийгидроксид, внутренняя соль)	$(CH_3)_3\overset{+}{N}CH_2COO^-$ *M* 117,2 Гидрат: *M* 135,2	Бесцв. крист. $+1H_2O$. Теряет H_2O 100. Разл. 310. Сладкий вкус. pK_a 1,83. Раств-сть: гидрат 157[19] H_2O; 8,6[18] EtOH; о. п. р. эф. pH нас. раств. ~8. Изомеризуется при $t_{пл}$ в метиловый эфир диметиламиноуксусной кисл. Гид-

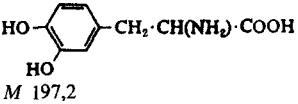
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		рохлорид: крист.; $t_{пл}$ 232 (разл.); раствсть: 64,7^{25} H_2O, 5 90%-ный EtOH, н. р. эф.
Брадикинин	Arg-Pro-Pro-Gly-Phe-Ser-Pro-Phe-Arg *M* 1060	Аморф. бел. порошок. $[\alpha]_D^{25}$ −76,5 (c = 1,37 в 1 М укс. кисл.). Раств-сть: р. H_2O, гор. MeOH, 70%-ный EtOH, лед. укс. кисл.; м. р. хол. MeOH, EtOH; о. п. р. ац., $CHCl_3$, эф., *н*-BuOH. Один из кининов плазмы, образующийся под действием протеолитических ферментов (калликреин, плазмин, трипсин, ферменты змеиного яда) на предшественник в плазме. О. мощное сосудорасширяющее средство, вызывает уменьшение кровяного давл., влияет на гладкие мышцы, повышает проницаемость капилляров, вызывает боль. Уст. в 0,1 М HCl при 100°C в течение 1 ч, в 0,1 М NaOH при комн. т. в течение 2 ч и в тв. состоянии при 0°C более длительное время.
Бутирилхолинхлорид	$(CH_3)_3\overset{+}{N}CH_2CH_2OCO(CH_2)_2CH_3\ \overset{-}{Cl}$ *M* 209,7	Бел. распл. крист. Раств-сть: о. х. р. H_2O, EtOH; р. $CHCl_3$; н. р. эф. Прогорклый запах. Быстро гидр. в кипящих кисл. Субстрат для псевдохолинэстеразы, гораздо медл. гидр. ацетилхолинэстеразой.
Валин (2-амино-3-метилбутановая кислота; Val)	 *M* 117,1	Листочки или призмы. DL: $t_{пл}$ 298 (разл.) (быстрое нагрев., запаянная трубка). L: $t_{пл}$ 315 (разл.; запаянная трубка). Субл. $[\alpha]_D^{25}$ +28,3 (c = 1 ÷ 2 в 5 М HCl); +5,63 (c = 1 ÷ 2, в H_2O). pK_a 2,29; 9,74. Раств-сть: DL 7,04^{25}, 12,6^{75} H_2O; 0,5^{25} 75%-ный EtOH; 0,015^{25} EtOH; н. р. эф.; L: 8,85^{25}, 10,2^{65} H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф.
Вазопрессин (антидиуретический гормон; адиуретин)	 аргининвазопрессии (человека, быка) В вазопрессине свиньи Arg замещен на Lys (лизинвазопрессин) [Arg^8]вазопрессин: *M* 1084 [Lys^8]вазопрессин: *M* 1056	Бел. аморф. порошок. Лизинвазопрессин: $[\alpha]_D^{22}$ −23,8 (c = 0,5 в 1 М укс. кисл.). Аргининвазопрессин: изоэлектрическая точка 10,9. Раств-сть: р. H_2O; н. р. ац. Гормон задней доли гипофиза. Основные действия: антидиуретическое, повышает кровяное давл. Уст. в кисл. раств., неуст. в щел. раств. Активность нарушается тиогликолятом. Чистый аргининвазопрессин ~400 Е/мг, лизинвазопрессин ~250 Е/мг.
3-Гидроксиантраниловая кислота (2-амино-3-гидроксибензойная кислота)	 *M* 153,1	Листочки из H_2O. Бел. иглы после субл. $t_{пл}$ 250 ÷ 252 (разл.); (230 ÷ 265). Раств-сть: р. гор. H_2O, щел.; м. р. хол. H_2O, EtOH; н. р. эф. Субл. при пониженном давл. Спектр: в 0,1 М HCl λ_{max} 298 нм (ε 3000) и 235 нм (ε 6400); при

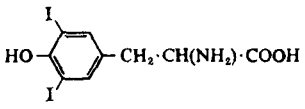
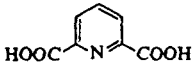
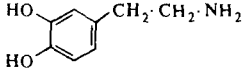
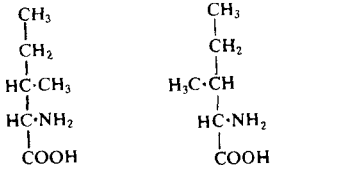
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		pH 7 λ_{max} 315–320 нм [Z. Naturf. **4b**, 327 (1949)]. Гидрохлорид: $t_{пл}$ 227.
5-Гидроксииндолуксусная кислота (5-гидрокси-1H-индол-3-уксусная кислота; 5-гидроксигетероауксин)	 *M* 191,2	Тв. в-во. $t_{пл}$ 160 ÷ 166. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, Et-ацетат; м. р. эф. Спектр: λ_{max} 277 нм (ε 5200) и 299 нм (ε 7200) (в MeOH).
3-Гидроксикинуренин (3-(3-гидроксиантранилоил)аланин; α, 2-диамино-3-гидрокси-γ-оксобензолбутановая кислота)	 *M* 224,2 Гидрат: *M* 242,2	DL: $t_{пл}$ 223 (разл.). L: золотисто-желт. иглы $+1H_2O$. $t_{пл}$ 180 (разл.). $[\alpha]_D^{27}$ L −34 (*c* = 0,17 в H_2O); +8,5 (*c* = 0,17 в 0,0152 M HCl). Раств-сть: р. гор. H_2O, кисл.; м. р. хол. H_2O, MeOH, EtOH. Раств. спонтанно окисл. на возд. Водн. раств. бесцвет. при кисл. pH, желтый в щел. Спектр: при pH 7 λ_{max} 368 нм (ε 4050), 267 нм (ε 7630), 228 нм (ε 19000). Гидробромид (DL): р. H_2O; $t_{пл}$ 233 (разл.). Сульфат (DL): $t_{пл}$ 175. Получ. см. [Biochem. Preps. **7**, 62 (1960); **9**, 79 (1962)].
5-Гидроксилизин (δ-гидроксилизин; 2,6-диамино-5-гидроксигексановая кислота; Hyl)	 5-гидрокси-L-лизин (*эритро*-5-гидрокси-L_S-лизин)  *алло*-5-гидрокси-L-лизин (*трео*-5-гидрокси-L_S-лизин) *M* 162,2 Гидрохлорид: *M* 198,6	Гидрохлорид: бел. крист. $t_{пл}$ DL 233 ÷ 234 (разл.), *алло*-DL 239 ÷ 241 (разл.), L 225 (разл.) $[\alpha]_D^{25}$ L +17,8 (*c* = 2 свободного основания в 5 M HCl); +9,2 (*c* = 2 свободного основания в H_2O); *алло*-L +31,4 (*c* = 2 свободного основания в 5 M HCl); +10,9 (*c* = 2 свободного основания в H_2O). pK_a 2,13[38], 8,85[25], 9,83[25]. Раств-сть: *н-* и *алло-* р. H_2O; н. р. MeOH, EtOH, ац., эф. В коллагене и родственных белках встречается *эритро*-5-гидрокси-L_S-лизин (*н*-изомер). *Алло*-5-гидроксилизин – *трео*-изомер. Большинство методов сиит. приводит к смеси DL- и *алло*-DL-изомеров; *н-* и *алло*-изомеры можно разделить на иоинообменной колонке [JBC **213**, 249 (1955)]. *н*-5-Гидрокси-L-лизин изомеризуется в 6 M HCl при 120°C в *алло*-5-гидрокси-D-лизин на 10% за 12 ч, 25% за 24 ч, так что в-во всегда частично изомеризовано, что для различных препаратов приводит к $[\alpha]_D^{25}$ от +14,9 до −4,5. Получ. оптических изомеров см. [Biochem. Preps. **8**, 55, 62 (1961); Bull. Chem. Soc. Japan **35**, 2006 (1962)].

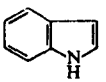
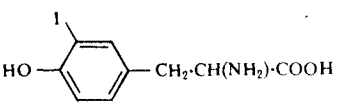
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
4-Гидроксипролин (4-гидрокси-2-пирролидинкарбоновая кислота; Hyp)	 4-гидрокси-L-пролин (*транс*-4-гидрокси-L-пролин; *эритро*-4-гидрокси-L_S-пролин)  *алло*-4-гидрокси-L-пролин (*цис*-4-гидрокси-L-пролин; *трео*-4-гидрокси-L_S-пролин) *M* 131,1	L: крист. $t_{пл}$: DL 247 (разл.); *алло*-DL 238 (разл.); L 274 (разл.); *алло*-L 240 (разл.) $[\alpha]_D^{25}$ L −50,5 (*c* = 2 в 5 M HCl); −76,0 (*c* = 2 в H_2O); *алло*-L −18,8 (*c* = 2 в 5M HCl); −59,5 (*c* = 2 в H_2O). pK_a L 1,82; 9,66. Раств-сть: DL и *алло*-DL р. H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф. L $36,1^{25}$, $51,7^{65}$ H_2O; о. п. р. EtOH, н. р. эф. Соль Cu: DL, н. р. H_2O; *алло*-DL, р. H_2O, н. р. EtOH; *н*- и *алло*-изомеры могут быть разделены перекр. соли Cu. Получ. оптических изомеров см. [JCS **1945**, 429; JBC **195** 383 (1952); Biochem. Preps. **8**, 114 (1961)].
5-Гидрокситриптамин (серотонин; 5-гидрокси-3-(2-аминоэтил)индол; 5-HT)	 *M* 176,2 Гидрат креатининсульфата: *M* 405,4	Маленькие белесые слоистые пластинки. Креатининсульфат: белые призмы или пластинки +1 H_2O. $t_{пл}$ 219 ÷ 221 (разл.). pK_a 9,8 (NH_2); 11,1 (OH). Раств-сть (креатининсульфат): 2^{27}, 10^{100} H_2O; р. лед. укс. кисл., м. р. MeOH, 95%-ный EtOH; н. р. EtOH, н. р. EtOH, ац., пир., эф., бенз., $CHCl_3$. Фармакол. активное в-во, стимулирует или ингибирует некоторые гладкие мышцы и нервы. Действие (гл. об. на сердечно-сосудистую, дыхательную и желудочно-кишечную системы), широко варьирует для различных видов и индивидуумов. Креатининсульфат уст. в раств. при всех pH в анаэробных усл., легко окисл. на возд., особ. при щел. pH; при нейтр. pH раств. уст. несколько ч. при комн. т. Спектр: при pH 3,5 λ_{max} 275 и 296 нм, при pH 11,6 275 и 322 нм, при pH 7 ε_{275} 5800. Гидрохлорид: $t_{пл}$ 167 ÷ 168; гигр.; р. H_2O; неуст. при комн. т.; фотолабилен.
DL-5-Гидрокситриптофан	 *M* 220,2	Бесцв. крист.; $t_{пл}$ DL 293 ÷ 300 (разл.), L 273 (разл.). $[\alpha]_D^{22}$ L −32,5 (*c* = 1 в H_2O); +16,0 (*c* = 1 в 4 M HCl). Раств-сть: 1^5, $5,5^{100}$ H_2O. Хранить в тв. виде под N_2; медл. разл. на возд. Кисл. раств. при −10°C на возд. уст. в течение года и более; при более высоких темп. и нейтр. или щел. pH чувствителен к O_2. В атм. инерт. газа не разл., водн. раств. можно автоклавировать в отсутствие O_2. Спектр: при pH 6 λ_{max} 278 нм, ε 5560, перегибы при 291 и 299 нм; при pH 11 λ_{max} 278 и 324 нм.
Гипотаурин (2-аминоэтансульфиновая кислота)	$H_2NCH_2CH_2SO_2H$ *M* 109,1 Гидрохлорид: *M* 145,6	М. гигр. бел. иглы. $t_{пл}$ 171 ÷ 178. Гидрохлорид: св.-желт. в сухом состоянии. pK_a 2,16; 9,56. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH, ац. Соли Zn и Ba: гигр.; р. в орг. раств-лях. Получ. см. [Biochem. Preps. **10**, 72 (1963)].

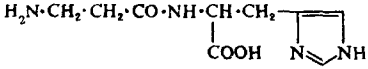
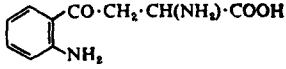
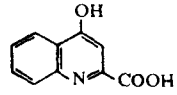
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Гиппуровая кислота (N-бензоилглицин)	 *M* 179,2	Бесцв. ромб. крист. $t_{пл}$ 187,5 (разл.). pK_a 3,62. Раств-сть: 0,37^{25} H_2O; м. р. EtOH, эф.; 0,11^{20} $CHCl_3$; н. р. бенз., петр. эф. Спектр: λ_{max} 230 нм, ε 10300.
Гистамин (1H-имидазол-4-этанамин; 4(5)-(2-аминоэтил)-имидазол)	 *M* 111,2	Бел. распл. крист. $t_{пл}$ 83 ÷ 84. $t_{кип}$ 209 ÷ ÷ 210^{18}. pK_a 6,04 (имидазол); 9,75 (NH_2). Раств-сть: р. H_2O, EtOH, гор. $CHCl_3$; н. р. эф. Мощное сосудорасширяющее средство, найденное в нормальных тканях и крови; вызывает сокращение гладких мышц, напр. кишечника и бронхов, стимулирует желудочную секрецию, активизирует окончания чувствительных нервов, вызывая зуд и боль. Дигидрохлорид: $t_{пл}$ 244 ÷ 246; р. H_2O, MeOH, EtOH; н. р. эф.; гор. $CHCl_3$ 0,005.
Гистидин (α-амино-1H-имидазолил-4-пропионовая кислота; His)	 *M* 155,2	Крист. $t_{пл}$ 287 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L +11,8 (c = 2 в 5 M HCl); −38,5 (c = 2 в H_2O). pK_a 1,80 (COOH); 6,04 (имидазол); 9,33 (NH_2). Раств-сть: DL р. H_2O; н. р. EtOH, эф., ац., $CHCl_3$; L 4,16^{25} H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф., ац. Потери происходят при гидр. белков. Легко рацемизуется при нагрев. с H_2SO_4. L-Гистидин дигидрохлорид: крист.; $t_{пл}$ 245 ÷ 246; о. х. р. H_2O; н. р. EtOH, эф.
Гистидинол дихлоргидрат (β-амино-1H-имидазолил-4-пропанол; 4-(2-амино-3-гидроксипропил)имидазол)	 *M* 214,1 Свободное основание: *M* 141,2	DL: ромб. пластинки. $t_{пл}$ 193 ÷ 195. L: $t_{пл}$ 198 ÷ 199. $[\alpha]_D^{18}$ −3,7 (c = 10 в H_2O); D +3,4 (c = 10 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH, MeOH; н. р. эф. Получ. см. [Biochem, Preps. **4**, 46 (1955); BBA **273**, 18 (1972)].
Гликоциамин (гуанидоуксусная кислота; N-амидиноглицин; N-(аминоиминометил)-глицин)	 *M* 117,1	Листочки или иглы из H_2O; разл. >300. pK_a 2,82. Раств-сть: 0,45^{15} H_2O; о. п. р. EtOH, эф. Спектр: λ_{max} 214 нм, ε 310 (в BuOH:EtOH:H_2O = 1:1:2, pH 8).
Глицин (аминоуксусная кислота; гликокол; Gly)	H_2NCH_2COOH *M* 75,1	Бел. монокл. крист. Сладкий вкус. $t_{пл}$ 292 (разл.). Темнеет при 232 ÷ 233. pK_a 2,35; 9,78. Раств-сть: 25^{25}, 54,4^{75} H_2O; 0,043^{25} 90%-ный EtOH; 0,0029^{25} EtOH; 0,61^{20} пир.; 0,032^{25} MeOH; 0,00023^{25} ац. Ацетилглицин: $t_{пл}$ 206.
Глутаминовая кислота (2-аминоглутаровая кислота; Glu)	$HOOCCH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 147,1	DL: бесцв. крист. $t_{пл}$ 225 ÷ 227 (разл.) L: бесцв. крист. $t_{пл}$ 247 ÷ 249 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L +31,8 (c = 2 в 5 M HCl); +12,0 (c = 2 в H_2O). pK_a 2,10; 4,07; 9,47. Раств-сть: DL 2,05^{25}, 11,86^{75} H_2O; о. п. р. EtOH, эф.; L 0,86^{25}, 5,53^{75} H_2O; 0,032^{25} 75%-ный EtOH; 0,00027^{25} EtOH; 0,007^{25} MeOH; н. р. эф. В водн. раств. образует пирролидонкарбоновую кисл. медл.

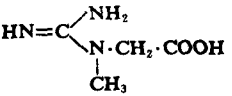
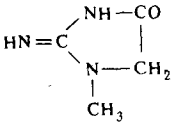
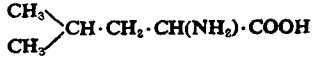
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		при комн. т., быстрее при 100°C. Уст. к гор. минер. кисл. в присутствии сахаров. L-Глутаминовая кисл. имеет вкус мяса; D-изомер безвкусен. Моно-Na-соль L-глутаминовой кисл.: крист. $+1\ H_2O$; х. р. H_2O, м. р. EtOH. N-Карбамоил-L-глутаминовая кислота: $t_{пл}$ 160.
L-Глутамин (2-аминоглутаминовая кислота; Gln)	$H_2NCOCH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 146,2	Бел. иглы. $t_{пл}$ 185–186 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ +31,8 ($c = 2$ в 1 M HCl); +6,3 ($c = 2$ в H_2O). pK_a 2,17; 9,13. Раств-сть: 3,6[18], 4,25[25] H_2O; 0,00046[25] EtOH; 0,0035[27] MeOH; н. р. эф., $CHCl_3$, Et-ацетат, ац., лед. укс. кисл. При кипячении в нейтр. водн. раств. или сл. кисл. раств. быстро превращается в аммонийную соль пирролидонкарбоновой кислоты.
L-Глутатион восстановленный (L-γ-глутамил-L-цистеинилглицин; GSH)	 *M* 307,3	Крист. $t_{пл}$ 190 ÷ 192 (разл.). $[\alpha]_D^{27}$ −21,3 ($c = 2$ в H_2O). pK_a 2,12 (COOH); 3,59 (COOH); 8,75 (NH_2); 9,65 (SH) [Adv. Protein Chem. **14**, 272 (1959)]. Раств-сть: р. H_2O; н. р. EtOH, эф. В тв. состоянии GSH длительное время уст. на возд.; водн. раств. легко окисл. на возд. до GSSG. Обзор см. [*Boyer et al.* (eds.), The Enzymes, vol. 2, p. 253 (1960)].
L-Глутатион окисленный (GSSG)	*M* 612,6	Бел. крист. порошок. $t_{пл}$ 182 ÷ 185. $[\alpha]_D^t$ GSSG −93,9 ($c = 1$ в H_2O); $-111{,}0^{16}_{5461}$ ($c = 1$ в H_2O). Раств-сть: GSSG р. H_2O; н. р. EtOH, эф. GSSG: Тв. в-во, связывает ~2 моля растворителя (H_2O, EtOH, ац.) на моль GSSG; удаление раств-ля происходит при высокой темп. (>100°C) в высоком вакууме; лиофилизацией раств-ль не удаляется.
Гомосерин (2-амино-4-гидроксибутановая кислота; 2-амино-4-гидроксимасляная кислота)	$HOCH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 119,1	Крист. $t_{пл}$ DL 186 ÷ 187 (разл.): L 203 (разл.). $[\alpha]_D^t$ L +18,3[26] ($c = 2$ в 2 M HCl): −8,8[25] ($c = 1 \div 2$ в H_2O) (свежеприготовленные растворы). pK_a 2,71; 9,62. Раств-сть: DL 125[30] H_2O; о. п. р. EtOH, эф.; L 110[30] H_2O; н. р. EtOH. Уст. в нейтр. и щел. водн. раств., но при кисл. pH превращается в γ-лактон и/или дикетопиперазин, что сопровождается уменьш. $[\alpha]_D^t$. L-γ-Лактон гидрохлорид: крист.; $[\alpha]_D^{26}$ −27,0 ($c = 5$ в H_2O).
Гомоцистеин (2-амино-4-меркантобутановая кислота)	$HSCH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 135,2	Крист. DL: $t_{пл}$ 263 ÷ 265 (разл.). pK_a 2,22 (COOH); 8,87; 10,86. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф. Легко окисл. до гомоцистина; в чистом виде может быть получен только в отсутствие O_2. В гор. 20%-ной HCl образует тиолактон·HCl (за несколько минут) [JBC **112**, 149 (1935–1936)]; тиолактон гидрол. до гомоцистеина при pH 8,3. Тио-

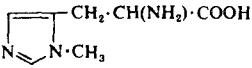
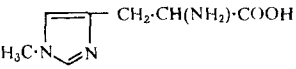
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		лактон·HCl: крист.; $t_{пл}$ 197 ÷ 201; $[\alpha]_D^{26}$ L +21,5 ($c = 1$ в H_2O). S-Бензильное произв.: крист.; $t_{пл}$ 240 ÷ 244; L $[\alpha]_D^{26}$ +27,2 ($c = 1 \div 2$ в 5 M HCl); м.р. H_2O, р. минер. кисл.; н.р. MeOH, EtOH. Получ. см. [Biochem. Preps., **5**, 93 (1957)].
Гомоцистин (4,4′-дитиобис-(2-аминобутановая кислота))	$S \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH(NH_2) \cdot COOH$ $S \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH(NH_2) \cdot COOH$ *M* 268,4	Крист. DL $t_{разл}$ 263 ÷ 265. L $t_{пл}$ 282 ÷ 283 (разл.). $[\alpha]_D^t$ L +78^{25} ($c = 1 \div 2$ в 5 M HCl); −16,0^{21} ($c = 0{,}06$ в H_2O). pK_a 1,59 (COOH); 2,54 (COOH); 8,52 (NH_2); 9,44 (NH_2). Раств-сть: DL 0,02^{25} H_2O; р. минер. кисл., щел. Преп. могут содержать *мезо*-соединения. Получ. см. [Biochem. Preps. **5**, 93 (1957).
2,4-Диаминомасляная кислота (2,4-диаминобутановая кислота; γ-аминобутирии)	$H_2NCH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 118,1 Моногидрохлорид: *M* 154,6 Дигидрохлорид: *M* 191,1	DL и L: моногидрохлорид; крист. из EtOH/H_2O. $t_{пл}$ 228 ÷ 230 (разл.). Дигидрохлорид: крист. из смеси конц. HCl–лед. укс. кисл. $t_{пл}$ DL 202 ÷ 206 (разл.); L 197 ÷ 198. $[\alpha]_D^t$ L +7,2^{25} ($c = 2$ свободного осиования в H_2O); +24,2^{25} ($c = 2$ моногидрохлорида в 5 M HCl); +14,6^{18} ($c = 3{,}67$ дигидрохлорида в H_2O). pK_a 1,85^{20} (COOH); 8,24^{20} (NH_2); 10,44^{20} (NH_2). Раств-сть: р. H_2O, минер. кисл.
Диаминопимелиновая кислота (2,6-диаминогептандиовая кислота)	$HOOCCH(NH_2)(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$ *M* 190,2 Гидрат: *M* 208,2	*Мезо*: безводн. крист. $t_{пл}$ >305. LL: крист. или порошок +1 H_2O. $[\alpha]_D^t$ *мезо* 0,0 (в 2 M NaOH, 5 M HCl и 12 M HCl); LL, моногидрат +8,1^{25} ($c = 5$ в H_2O); +45,1^{24} ($c = 2{,}6$ в 5 M HCl). pK_a *мезо* и LL 1,8 (COOH); 2,2 (COOH), 8,8 (NH_2); 9,9 (NH_2). Раств-сть: *мезо* 0,92^{21} H_2O; р. разб. минер. кисл., щел; н.р. EtOH; LL х.р. H_2O; н.р. EtOH. *Мезо*-форма менее растворима в H_2O, чем др. стереоизомеры, и легко может быть получена из смесн путем перекр. Разделенне изомеров см. [Meth. Enzymol. **6**, 624 (1963)]. *Мезо*-изомер имеет *эритро*-конфигурацию, а LL- и DD-изомеры *трео*коифигурацию.
L-3,4-Дигидроксифенилаланнии (L-DOPA; ДОФА; леводопа; 3-гидрокси-L-тирозин; 3-(3,4-дигидроксифеиил)-L-аланин)	 *M* 197,2	Бел. крист. $t_{пл}$ 276 ÷ 286 (разл.). $[\alpha]_D^t$ −39,5 ($c = 1{,}3$ в H_2O); −12,0^{20} ($c = 2$ в 1 M HCl). pK_a 2,32 (COOH); 8,72 (NH_2); 9,96 (OH); 11,79 (OH). Раств-сть: 0,5^{20}, 2,5^{100} H_2O; р. кисл. и щел.; н.р. EtOH, эф. Использ. как терапевтический препарат при болезни Паркинсона. Поли. активен только после декарбоксилирования до допамина. Быстро окисл. O_2 в водн. раств. и в тв. состоянии, если отсыреет. Хранить в тв. виде в темноте. Спектр: λ_{max} 280 нм; ε 2650 (pH 1–7). Гидрохлорид: $t_{пл}$ 209 (разл.) DL-3,4-Дигидроксифенилалании: $t_{пл}$ 265 ÷ 280 (разл.); раств-сть: 0,36 H_2O.

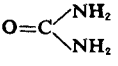
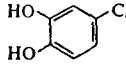
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
3,5-Дииодотирозин (иодогоргоновая кислота; 3,5-дииодо-4-гидроксифенилаланин)	 *M* 433,0	DL: крист. $t_{пл}$ 201 (разл.). L: крист. $t_{пл}$ 213 (разл.). $[\alpha]_D^{20}$ L +2,9 ($c = 5$ в 4%-ной HCl). pK_a 2,12 (COOH); 5,32 (OH); 9,48 (NH_2). Раств-сть: DL 0,034^{25} H_2O; р. щел.; L 0,062^{25} H_2O; р. щел.; н. р. EtOH, эф. Неуст. на свету, теряет иод. Деиодирование происходит при гидрол. белка, особ. кисл. Спектр: в 0,04 М KOH λ_{max} 310 нм, ε 5920; в 0,04 М HCl λ_{max} 285 нм, ε 2730.
Диметиламин (N-метиламинометан)	CH_3NHCH_3 *M* 45,1	Бесцв. жидк. или газ; $t_{пл}$ −96,0; $t_{кип}$ 7,4. pK_a 10,92^{20}; 10,63^{30}; 10,35^{40}. Раств-сть: х. р. H_2O; р. EtOH, эф. Гидрохлорид: распл.; $t_{пл}$ 171; х. р. H_2O; р. EtOH, $CHCl_3$; н. р. эф.
Дипиколиновая кислота (пиридин-2,6-дикарбоновая кислота; α, α′-дипиколиновая кислота)	 *M* 167,1 Гидрат: *M* 194,1	Бесцв. иглы $+1^1/_2$ H_2O; после субл. призмы; $t_{пл}$ 232 (разл.). pK_a 2,16; 4,76. Раств-сть: м. р. H_2O; о. п. р. EtOH. Может субл. Спектр: λ_{max} 270 нм, плечи 262,5 и 277, 5 нм (pH 7–13). Соль Ca: х. р. H_2O.
Допамин (3-гидрокситирамин; 3,4-дигидроксифенэтиламин)	 *M* 153,2 Гидрохлорид: *M* 189,7	Бел. крист., быстро темнеющие на возд. Гидрохлорид: крист.; $t_{пл}$ 241 (разл.). pK_a 8,9 (OH): 10,6 (NH_2). Раств-сть: р. H_2O. Гидрохлорид: х. р. H_2O; р. MeOH; н. р. эф. Нейромедиатор ц. н. с. Спонтанно окисл. в водн. раств. при щел. pH. Гидробромид: крист., $t_{пл}$ 212.
Изолейцин (2-амино-3-метилпентановая кислота; Ile)	 L-изолейцин; *эритро*-L_S-изолейцин; L-*алло*-изолейцин; *трео*-L_S-изолейцин *M* 131,2	Восковые листочки или пластинки. DL: $t_{пл}$ 292 (разл.) L: субл. 168 ÷ 170; $t_{пл}$ 285 ÷ 286 (разл.). L-*алло*: $t_{пл}$ 278 ÷ 281 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L +39,5 ($c = 1$ в 5 М HCl); +12,4 ($c = 1$ в H_2O); L-*алло* +39,6 ($c = 1$ в 5 М HCl); +15,9 ($c = 1$ в H_2O). pK_a L 2,32; 9,76; L-*алло* 2,27; 9,62. Раств-сть: DL 2,23^{25}, 4,61^{75} H_2O; р. гор. EtOH, гор. лед. укс. кисл.; н. р. эф.; L 4,12^{25}, 6,08^{75} H_2O; 0,072^{20} EtOH; р. гор. лед. укс. кисл.; н. р. эф.; L-*алло* 2,9^{20} H_2O; 0,1^{20} EtOH; н. р. эф. Уст. к гор. минер. кисл. в присутствии углеводов. Коммерческие преп., особ. «DL-изолейцин», могут содержать *алло*-изомеры. Хроматограф. разделение *н-* и *алло*-изомеров см. [JBC **207**, 77 (1954)]. Получ. оптических изомеров см. [Biochem. Preps. **3**, 84 (1953)].

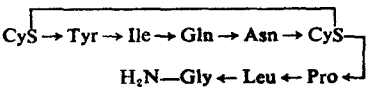
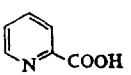
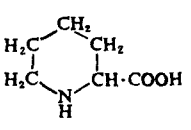
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Индол (2,3-бензопиррол)	 *M* 117,1	Св.-желт. листочки. $t_{пл}$ 52 ÷ 53. $t_{кип}$ 254. Раств-сть: х. р. EtOH, эф.; р. гор. H_2O, бенз., петр. эф. Характерен интенсивный запах фекалий, высокоочищенное в-во не имеет запаха. β-Метиновая гр. чрезвычайно активна, легко реагирует с альдегидами и фенолами.
3-Иодотирозин (β-(4-гидрокси-3-иодофенил)аланин; моноиодотирозин; MIT)	 *M* 307,1	DL: пластинки +1 H_2O. $t_{пл}$ 200 ÷ 201 (разл.). L: безводн. крист. $t_{пл}$ 204 ÷ 206 (разл.). $[\alpha]_D^{20}$ L −4,4 (*c* = 5 в 1 M HCl). pK_a 2,2 (COOH); 8,7 (OH); 9,1 (NH_2). Раств-сть: м. р. хол. H_2O; 6,7^{100} H_2O. Неуст. на свету, теряет иод.
Кадаверин (1,5-пентандиамин; 1,5-диаминопентан; пентаметилендиамин)	$H_2NCH_2CH_2CH_2CH_2CH_2NH_2$ *M* 102,2 Гидрат: *M* 138,2	Бесцв. дымящий сироп. d_4^{25} 0,873. $t_{пл}$ 9. $t_{кип}$ 178 ÷ 180. Образует маслянистый гидрат (+2H_2O). pK_a 10,05; 10,93. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; м. р. эф. Характерный запах. Темнеет при хранении. Поглощает CO_2 из возд. Дигидрохлорид: гигр. крист.; $t_{пл}$ 255; р. H_2O, MeOH, м. р. EtOH.
Карбамиласпарагиновая кислота (уреидоянтарная кислота; аминокарбониласпарагиновая кислота)	$HOOC \cdot CH_2 \cdot CH(NH \cdot CO \cdot NH_2) \cdot COOH$ *M* 176,1	Бел. крист. $t_{пл}$ DL 178 ÷ 180. L $t_{пл}$ 128 ÷ ÷ 130. $[\alpha]_D^t$ +18,9^{20} (*c* = 3,38 в H_2O); +24,1^{25} (*c* = 3 соль Ba в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Соль K гигр., соли Ba и Ca негигр. Получ. L см. [Chem. Pharm. Bull. Tokyo **15**, 1604 (1967); Biochem. **13**, 638 (1974)].
Карбамилхолинхлорид (карбахол; дорил; N-[2-(Аминокарбонил)окси]этил-N,N,N-триметиламмонийхлорид)	$(CH_3)_3\overset{+}{N}CH_2CH_2OCONH_2\ Cl^-$ *M* 182,6	Тв. призм. крист. о. гигр. $t_{пл}$ 210 ÷ 212. Без запаха. Раств-сть.; х. р. H_2O; р. MeOH, м. р. EtOH; н. р. CHCl, эф. Водн. раств. имеет нейтр. р-цию и уст. даже при нагрев. Обладает парасимпатомиметическим действием, активность не продлевается эзерином или неостигмином. Не атакуется холинэстеразами.
γ-Карбоксиглутаминовая кислота (4-карбоксиглутаминовая кислота; 3-аминопропан-1,1,3-трикарбоновая кислота; Gla)	$HOOC \cdot CH(CH_2 \cdot CHNH_2 \cdot COOH) \cdot COOH$ *M* 191,2	DL: бел. порошок. $t_{пл}$ 90 ÷ 92. L: бесцв. крист. $t_{пл}$ 167 ÷ 167,5. $[\alpha]_D^{20}$ L +35,3 (*c* = 1 в 6 M HCl). pK_a 1,7; 3,2; 4,75; 9,9 Раств-сть: р. H_2O; н. р. эф. Уст. в щел., напр. в 2 M KOH, при 110°C в течение 24 ч. В кисл. раств. декарбоксилируется, давая пироглутаминовую кисл.; период полупревращения в 0,05 M HCl при 100°C ~10 мин, в 6 M HCl при 110°C ~20 мин. При гидрол. белка в стандартных усл. образуется глутаминовая кисл. Синт. см [JACS **101**, 4385 (1979); Helv. Chim. Acta **60**, 798 (1977)].

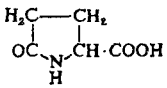
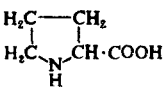
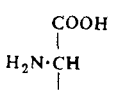
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Карнитин (γ-триметил-β-гидроксибутиробетаин; внутренняя соль N-(3-карбокси-2-гидроксипропил)-N,N,N-триметиламмонийгидроксида; L: витамин B_T)	$(CH_3)_3\overset{+}{N}CH_2CH(OH)CH_2COO^-$ *M* 161,2	DL: гигр. крист. $t_{пл}$ 195 ÷ 197 (разл.). L: о. гигр. крист. $t_{пл}$ 197 ÷ 198 (разл.). $[\alpha]_D^{30}$ L −23,9 ($c = 0{,}83$ в H_2O). pK_a 3,80. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; м. р. ац., изопропаиол; н. р. эф.; гидрохлорид х. р. H_2O; м. р. EtOH; и. р. эф. Гидрохлорид (DL): $t_{пл}$ 196 (разл.); раств-сть: 146,4[16], 234[56] H_2O; (L) $t_{пл}$ 142 (разл.); $[\alpha]_D^{20}$ −23,7. О-Ацетил-L-карнитин: $t_{пл}$ 145; $[\alpha]_D^{20}$ −19,5. Получ. L см. [Biochem. Preps. **7**, 26 (1960); ZPC **353**, 618 (1972); Appl. Environ. Microbiol. **39**, 327 (1980)]. Ацилкарнитины см. [Biochem. Preps. **12**, 69 (1968); J. Org. Chem. **32**, 3989 (1967)].
L-Карнозин (β-аланил-L-гистидин)	 *M* 226,2	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 260 ÷ 262 (разл.) (варьирует). $[\alpha]_D^{20}$ +21,9 ($c = 1$ в H_2O). pK_a 2,62 (COOH); 6,66 (имидазол); 9,24 (NH_2). Раств-сть: 32 H_2O; и. р. EtOH. Нитрат: бесцв. иглы; $t_{пл}$ 222 ÷ 223 (разл.); $[\alpha]_D^{20}$ +23,0 ($c = 5{,}2$ в H_2O); х. р. H_2O. Гидрохлорид: крист.; х. р. H_2O. L-Ансерии (β-аланил-1-метил-L-гистидин): о. гигр. бесцв. крист.; $t_{пл}$ 240 ÷ 242 (разл.); $[\alpha]_D^{23}$ +11,4 ($c = 5$ в H_2O); х. р. H_2O, о. п. р. EtOH.
Кинуренин (3-антранилоилаланин; α,2-диамино-γ-оксобензолбутановая кислота)	 *M* 208,2 Гидрат: *M* 214,2 Сульфат: *M* 306,3 Гидрат сульфата: *M* 324,3	Листочки $+{}^1/_3$ H_2O из H_2O; безводн. иглы из H_2O/EtOH. Сульфат: бесцв. иглы $+1$ H_2O из водн. раст-лей. $t_{пл}$ DL 218 (разл.); сульфат 173; L 191 (разл.); сульфат 190 (178 ÷ 194). $[\alpha]_D^{25}$ L −30,5 ($c = 1$ в H_2O); +10,1 ($c = 1$ безводн. сульфата в H_2O). Раств-сть: м. р. H_2O (L > DL), сульфат р. H_2O, м. р. EtOH. Спектр: при pH 7 λ_{max} 360 (ε 4500), 257 (ε 7500), 230 (ε 18900); в интервале pH 2–12 сл. меняется. Получ. см. [Biochem. Preps. **3**, 108 (1953); JACS **76**, 1708 (1954)]. N′-Формилкинуренин: $t_{пл}$ 162; спектр: при pH 7 λ_{max} 260 (ε 10980), 321 нм (ε 3750). Синт. см. [JCS **1952**, 137]; выд. см. [BBA **31**, 301 (1959)].
Кинуреновая кислота (4-гидроксихиолин-2-карбоиовая кислота; 4-гидроксихинальдиновая кислота)	 *M* 189,2	Желт. иглы. Теряет H_2O 140 ÷ 145. $t_{разл}$ 282 ÷ 283. Раств-сть: $0{,}9^{100}$ H_2O; р. гор. EtOH, щел.; м. р. эф., минер. кисл.; 50%-ная водн. укс. кисл. Чрезвычайно трудно получить в чистом виде. Спектр: при pH 7 λ_{max} 332 (ε 9800) и 344 им (ε 7920) [BJ **52**, 8 (1952)].

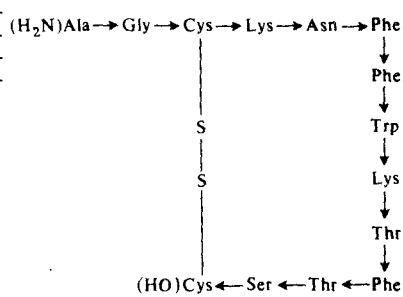
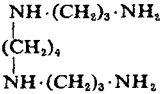
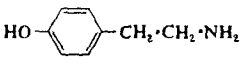
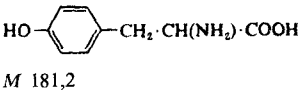
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Кортикотропин (АКТГ; адренокортикотропин; адренокортикотропный гормон; кортикотрофин)	Ser-Tyr-Ser-Met-Glu-His-Phe-Arg-Trp-Gly-Lys-Pro-Val-Gly-Lys-Lys-Arg-Arg-Pro-Val-Lys-Val-Tyr-Pro-Asn-Gly-Ala-Glu-Asp-Glu-Ser-Ala-Glu-Ala-Phe-Pro-Leu-Glu-Phe Кортикотропин человека *M* 4541 (Кортикотропины из овцы и быка имеют Gln^{33}; из свиньи – Leu^{31})	Аморф. бел. порошок. $[\alpha]_D^{23}$ −150 ($c = 0{,}5$ ацетата в 0,1 М укс. кисл.). Раств-сть: х. р. H_2O; м. р. 70%-ный EtOH, *н*-BuOH; н. р. хол. ац. Гормон аденогипофиза (передней доли гипофиза). Стимулирует секрецию кортизола, кортикостерона и альдостерона корой надпочечников и стимулирует рост коры надпочечников. Водн. раств. медл. теряет биол. активность из-за окисл., но процесс обратим под действием мягких восстанавливающих агентов (напр., Na_2SO_3). Уст. к нагрев. в водн. раств., напр. при pH 7,5 и 100°C по крайней мере 2 ч и в 0,1 М HCl при 100°C 1 ч. Теряет активность в 0,1 М NaOH при 100°C за 30 мин. Неуст. к УФ в водн. раств. при щел. pH. Чистый кортикотропин 150–200 Е/мг.
Креатин (N-(аминоиминометил)-N-метилглицин; (α-метилгуанидо)уксусная кислота; метилгликоциамин)	 *M* 131,1 Гидрат: *M* 149,2	Бесцв. монокл. призмы $+1\,H_2O$ (из H_2O). Теряет H_2O 100. $t_{пл}$ 303 (разл.). pK_a 2,63; $14{,}3^{12}$. Раств-сть: $1{,}09^{10}$, $1{,}35^{18}$ H_2O; 0,0063 хол. EtOH; н. р. эф. Найден в мышцах позвоночных, небольшие кол-ва в крови, отсутствует в нормальной моче взрослых особей. Водн. раств. имеют близкую к нейтр. р-цию. В нейтр. и щел. раств. образует равновесную смесь с креатинином [BJ **22**, 924 (1928); JACS **47**, 1179 (1925)]; в кисл. раств. полн. превращается в креатинин.
Креатинин (1-метилгликоциамидин; 2-имино-1-метил-4-имидазолидинон; 2-амино-1,5-дигидро-1-метил-4*H*-имидазол-4-он)	 *M* 113,1 Гидрат: *M* 149,2	Бесцв. крист. $+2\,H_2O$ при медл. выпаривании нас. води. раств. или листочки без H_2O из гор. нас. раств. Безводн.: $t_{разл}$ ~300. pK_a 4,83; $9{,}2^{20}$. Раств-сть: $8{,}7^{16}$ H_2O; $0{,}98^{16}$, EtOH; н. р. эф. Обычный компонент мочи; найден также в крови и мышцах. Спектр: при pH <3 λ_{max} 217 нм, ε 4500; при pH 6,5 12,3 λ_{max} 234 нм, ε 6900; в 1 М KOH λ_{max} 225 нм, ε 11100 [Acta Chem. Scand. 7, 445 (1953)].
L-Лантионин (бис (2-амино-2-карбоксиэтил)сульфид; S-(2-амино-2-карбоксиэтил)цистеин)	 *M* 208, 2	Гекс. пластинки. Разл. 293 ÷ 295. $[\alpha]_D^{22}$ +8,6 ($c = 5$ в 2,4 М NaOH). Раств-сть: $0{,}15^{25}$ H_2O; н. р. EtOH, эф.; р. кисл., щел. *мезо*-Лантионин: $t_{пл}$ 306 (283 ÷ ÷ 306, разл.); трехгранные пластинки, раств-сть: $0{,}022^{25}$ H_2O, р. кисл., щел. н. р. EtOH, эф. Синт. см. [JBC **140**, 767 (1941); Ber, **94**, 2157 (1961)]. Выд. см. [JBC **144**, 87, (1942)].
Лейцин (2-амино-4-метилпентановая кислота; Leu)	 *M* 131,2	Бесцв. листочки. Субл. 145 ÷ 148. $t_{пл}$ 293 ÷ 295 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L +16,0 ($c = 2{,}0$ в 5 М HCl); −11,0 ($c = 2{,}0$ в H_2O). pK_a 2,33; 9,74. Раств-сть: DL $0{,}99^{25}$, $2{,}28^{75}$ H_2O; $0{,}13^{25}$ 90%-ный EtOH; н. р. EtOH,

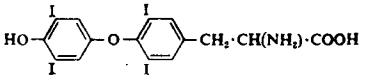
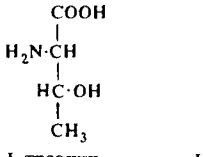
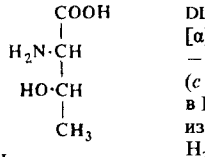
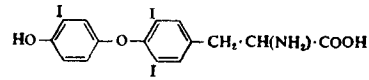
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		эф.; L 2,43^{25}, 3,82^{75} H_2O; 0,017^{25} EtOH; н. р. эф. Уст. к гор. минер. кисл. в присутствии углеводов.
Лизин (2,6-диаминогексановая кислота; Lys)	$H_2NCH_2(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$ *M* 146,2 Моно-HCl: *M* 182,7 Ди-HCl: *M* 219,1	Иглы или пластинки. $t_{пл}$ L 224 (разл.). Моно-HCl: крист. $t_{пл}$ 263 ÷ 264, Ди-HCl: крист. $t_{пл}$. DL 187 ÷ 189; L 192 ÷ 193. $[\alpha]_D^{25}$ L +25,9 (c = 2,0 в 5 M HCl); +13,5 (c = 2,0 в H_2O). pK_a 2,16; 9,06 10,54 (ε-NH_2). Раств-сть: DL и L х. р. H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф.; моно-HCl (L) х. р. H_2O; р. MeOH; ди-HCl (L) х. р. H_2O; р. MeOH; н. р. EtOH.
Метиламин (метанамин; аминометан)	CH_3NH_2 *M* 31,1 Гидрохлорид: *M* 67,5	Бесцв. газ $t_{пл}$ −93,5. $t_{кип}$ −6,3. pK_a 10,79^{20}; 10,47^{30}; 10,16^{40}. Раств-сть: 1153,9^{12,5} мл газа на 1 мл H_2O; х. р. MeOH, EtOH, ∞ эф. Метиламингидрохлорид: распл. листочки из EtOH; $t_{пл}$ 227 ÷ 228; $t_{кип}$ 230^{15}; х. р. H_2O, 23^{78} EtOH, н. р. эф., ац., $CHCl_3$.
L-1-Метилгистидин (N-метилимидазол-5-аланин; α-амино-β-(1-метил-5-имидазол)пропионовая кислота)	 *M* 169,2 Гидрат: *M* 187,2	Иглы +1 H_2O. Теряет H_2O в вакууме и при 100. $t_{пл}$ 248 ÷ 249. $[\alpha]_D^{18}$ −25,8 (c = 3,9 в H_2O). pK_a 1,69 (COOH); 6,48 (имидазол); 8,85 (NH_2). Раств-сть: 20^{25} H_2O. При синт., по-видимому, в некоторой степени рацемизуется. Положительная р-ция Паули. Получ. см. [JACS **79**, 2249 (1957)].
L-3-Метилгистидин (1-метилимидазол-4-аланин; α-амино-β-(1-метил-4-имидазол) пропионовая кислота)	 *M* 169,2	$[\alpha]_D^{26}$ −26,5 (c = 2,1 в H_2O). pK_a 1,92; 6,56; 8,73. Раств-сть: р. H_2O. При синт., по-видимому, в некоторой степени рацемизуется. Отрицательная р-ция Паули. Гидрохлорид: $[\alpha]_D^{27}$ +13,5 (c = 1,9 в 1 M HCl). Получ. см. [JBC **206**, 825 (1954); JACS **79**, 2249 (1957)].
N^6-Метил-L-лизин (ε-N-метил-L-лизин)	$CH_3NH(CH_2)_4CH(NH_2)COOH$ Безводн.: *M* 160,2 Гидрохлорид: *M* 196,7	Гидрохлорид: крист. $t_{пл}$ 237 ÷ 239 (разл.). $[\alpha]_D^{23}$ +21,9 (c = 2 в 6 M HCl). Гидрохлорид: р. H_2O, минер. кисл., EtOH; о. п. р. пир.; н. р. бенз. Получ. см. [Biochem. Preps. **11**, 80 (1966); Can. J. Chem. **42**, 2043 (1964)].
Метилметионинсульфонийбромид (метионинметилсульфонийбромид; (3-амино-3-карбоксипропил)диметилсульфонийбромид)	$(CH_3)_2\overset{+}{S}CH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ Br^- Свободный катион: *M* 163,2 Хлорид: *M* 199,7 Бромид: *M* 244,2	Бромид: бел. иглы или пластинки. $t_{пл}$ DL 139 ÷ 141 (разл.); L 139 (разл.) Раств-сть: р. H_2O; 0,439^{25} MeOH; 0,012^{25} EtOH; н. р. эф., ац. Сухой бромид медл. разл., особ. на свету. Хранить на хол. в сухом темном месте. Свободное основание и его соли разл. до гомосерина, метионинсульфоксида и диметилсульфида в кипящем водн. раств., особ. в присутствии щел. Хлорид (DL): $t_{пл}$ 134 ÷ 138 (разл.). Иодид (DL): $t_{пл}$ 150 (разл.).

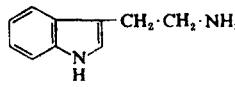
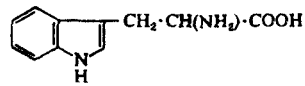
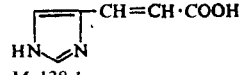
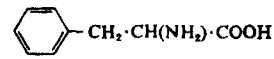
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Метионин (2-амино-4-(метилтио)бутановая кислота; Met)	$CH_3SCH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 149,2	Пластинки. $t_{пл}$ 281 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L +23,2 ($c = 0,5 \div 2,0$ в 5 M HCl); −10,0 ($c = 0,5 \div 2,0$ в H_2O). pK_a 2,13; 9,28. Раств-сть: DL $3,38^{25}$, $10,52^{75}$ H_2O; р. разб. кисл., щел.; L р. H_2O; н. р. EtOH, эф. Потери происходят при гидрол. белков в присутствии углеводов и в результате окисл. Крист. до некоторой степени плохо смачиваемы.
Метионинсульфоксид (2-амино-4-метилсульфинилбутановая кислота)	$CH_3SOCH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 165,2	Бел. порошок. $t_{разл}$ 225 ÷ 231 (смесь всех четырех изомеров). $[\alpha]_D^{24 \div 26}$ L*l* −71,6 ($c = 0,5 \div 2,0$ в H_2O); −57,6 ($c = 0,5 \div 2,0$ в 5 M HCl); L*d* +99,0 ($c = 0,5 \div 2,0$ в H_2O); +127,2 ($c = 0,5 \div 2,0$ в 5 M HCl). Раств-сть: $>66^{25}$ H_2O; м. р. EtOH; н. р. ац., эф. В водн. раств. уст. Возможны четыре стереоизомера (L*l*, L*d*, D*l*, D*d*), так как атом S образует асимметрический центр.
Метионинсульфон (2-амино-4-метилсульфонилбутановая кислота)	$CH_3SO_2CH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 181,2	Крист. $t_{пл}$ DL 248 ÷ 250 (разл.); L 257 ÷ 258 (разл.). $[\alpha]_D^{28}$ L +13,5 ($c = 2,1$ в H_2O); +30,3 ($c = 2,1$ в 1 M HCl). Раств-сть: р. H_2O (меньше, чем сульфоксид, но больше, чем метионин); н. р. 95%-ный EtOH. Более уст., чем сульфоксид.
Мочевина (карбамид)	 *M* 60,1	Бесцв. крист. или иглы. $t_{пл}$ 132,7. Раств-сть: 78^5, $119,3^{25}$ H_2O; $15,8^{20}$ EtOH; р. конц. HCl; о. п. р. эф.; н. р. $CHCl_3$. Нитрат: призмы; $t_{пл}$ 152 (разл.), р. гор. H_2O. В раств. мочевины при стоянии обнаруживается присутствие значительных кол-в активных цианатионов [JBC **235**, 3177 (1960)]. Следует использ. свежеприготовленные раств. или разлагать цианат подкислением перед использ. Сл. металлов могут быть удалены обработкой конц. раств. смесью катионо- и анионообменных смол. Денатурирует белки.
Норадреналин (артеренол; норэпинефрин; 1-(3,4-дигидроксифенил)-2-аминоэтанол; 4-(2-амино-1-гидроксиэтил)-1,2-бензодиол)	 *M* 169,2 Гидрохлорид: *M* 205,6	Бесцв. крист. $t_{пл}$ DL 188 ÷ 191; D 215 ÷ ÷ 217. $[\alpha]_D^{25}$ D −37,3 ($c = 5$ в H_2O +1 экв. HCl). pK_a 8,64 (NH); 9,70 (OH). Раств-сть: р. минер. кисл., щел.; м. р. H_2O, MeOH, EtOH, эф. Симпатомиметическое действие. Основной адренергический эффектор в постганглионарных эффекторных соединениях. Прессорный эффект, гл. обр. благодаря сужению периферических сосудов. Природное соединение имеет D-конфигурацию (по миндальной кислоте). Водн. раств. медл. рацемизуются и окисл. Макс. стабильность при pH ~4. Раств. можно автоклавировать без доступа

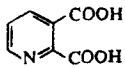
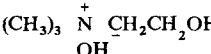
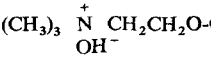
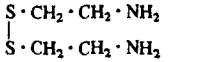
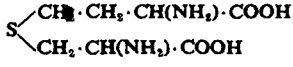
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		возд. при pH 3,6. Гидрохлорид (DL): $t_{пл}$ 141; D $t_{пл}$ 145 ÷ 147; р. H_2O; $[\alpha]_D^{25}$ −40 ($c = 6$ в H_2O). Битартрат (D): крист. +1 H_2O; $t_{пл}$ 102 ÷ 104; р. H_2O.
Норвалин (2-аминопентаиовая кислота)	$CH_3CH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 117,1	Листочки или иглы. $t_{пл}$ DL 303 (запаянная трубка). L 305 (разл.; запаянная трубка). $[\alpha]_D^{25}$ L +24,1 ($c = 1 \div 2$ в 5 M HCl); +7,0 ($c = 1 \div 2$ в H_2O). pK_a 2,32; 9,81. Раств-сть: DL и L $10,7^{15}$ H_2O; м. р. EtOH; н. р. ац., $CHCl_3$, эф. Гидрохлорид (L): $t_{пл}$ 223 ÷ 224.
Норлейцин (2-аминогексановая кислота; гликолейцин)	$CH_3(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$ *M* 131,2	Блестящие листочки. $t_{пл}$ DL 295 (разл.); L 301 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L +24,5 ($c = 1 \div 2$ в 5 M HCl); +4,7 ($c = 1 \div 2$ в H_2O). pK_a 2,34; 9,83. Раств-сть: DL $1,15^{25}$, $5,23^{100}$ H_2O; $0,11^{25}$ MeOH; $0,014^{25}$ EtOH; L $1,5^{25}$ H_2O; н. р. EtOH. Субл. Гидрохлорид (L): $t_{пл}$ 280 ÷ 285 (субл.).
Окситоцин (окситоциновый гормон)	 CyS → Tyr → Ile → Gln → Asn → CyS H_2N—Gly ← Leu ← Pro *M* 1007	Бел. аморф. порошок. $[\alpha]_D^{22}$ −26,2 ($c = 0,53$ в H_2O). Изоэлектрическая точка 7,7. Раств-сть: р. H_2O, BuOH; м. р. ац. Гормон задней доли гипофиза. Основные действия: вызывает сокращение матки, выделение молока из молочных желез млекопитающих, а также понижение кровяного давл. у птиц. Чистое в-во ~500 Е/мг. Уст. в кисл., неуст. в щел. Активность нарушается в присутствии восстановителей, напр. тиогликолята.
Орнитин (2,5-диаминопентановая кислота)	$H_2NCH_2CH_2CH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 132,2 Моно-HCl: *M* 168,6 Ди-HCl: *M* 205,1	Сироп, трудно крист. $t_{пл}$ DL 195, L 226 ÷ 227. Моно-HCl: бел. тв. гранулы $t_{пл}$ L 233 (разл.). Ди-HCl (L): $t_{пл}$ 190 ÷ 203. $[\alpha]_D^{25}$ L +28,4 ($c = 2,0$ в 5 M HCl); +12,1 ($c = 2,0$ в H_2O); ди-HCl (L) +16,5 ($c = 4$ в H_2O). pK_a 1,71 (COOH); 8,69 (α-NH_2); 10,76 (δ-NH_2). Раств-сть: DL и L х. р. H_2O, EtOH; о. п. р. эф.; моно-HCl р. H_2O, кисл. щел.; н. р. MeOH, EtOH, эф.; ди-HCl р. H_2O; х. р. MeOH, EtOH.
Пиколиновая кислота (пиридин-2-карбоновая кислота)	 *M* 123,1	Иглы. $t_{пл}$ 136. pK_a 1,07; 5,25. Раств-сть: х. р. лед. укс. кисл.; р. H_2O, MeOH; $5,44^{25}$ EtOH; м. р. бенз.; и. р., эф., $CHCl_3$. Субл. Гидрохлорид: м. р. EtOH, н. р. эф.; $t_{пл}$ 225 ÷ 230 (разл.) (при медл. нагрев. 210 ÷ 212).
L-Пипеколиновая кислота (пиперидин-2-карбоновая кислота; гомопролин)	 *M* 129,2	Иглы или пластинки. Субл. в вакууме при 200. $t_{пл}$ 270 (разл.) $[\alpha]_D^t$ −25,4[18] ($c = 5$ в H_2O); $-13,3^{25}$ ($c = 2$ в 5 M HCl). pK_a 2,28; 10,72. Раств-сть: х. р. H_2O; р. MeOH; м. р. EtOH; о. п. р. ац.; н. р. эф. Моногидрохлорид: $t_{пл}$ 258 ÷ 259;

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		х. р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф. $[\alpha]_D^{23}$ $-10,5$ ($c = 9,8$ в H_2O). DL-Пипеколиновая кислота: $t_{пл}$ 264 (258 ÷ 280); моногидрохлорид: $t_{пл}$ 257 ÷ 264. Получ. DL и L см. [Meth. Enzymol. **17B**, 174 (1971)].
L-2-Пирролидон-5-карбоиовая кислота (пироглутаминовая кислота; 5-оксопирролидин-2-карбоновая кислота; 5-оксопролин)	 *M* 129,1	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 162 ÷ 163. $[\alpha]_D^t$ $-11,3^{20}$ ($c = 2$ в H_2O); ($-9,9$ до $-13,1$ в H_2O). pK_a 3,32. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, лед. укс. кисл.; м. р. Et-ацетат; н. р. эф. При кипячении в течение 1–2 ч при 100°C в 2 М HCl или 0,5 М NaOH почти полн. гидрол. до глутаминовой кисл.
Пролин (пирролидин-2-карбоновая кислота; Pro)	 *M* 115,1	Гигр. призмы или иглы. $t_{пл}$ DL 213 (разл.); L 220 ÷ 222 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L $-60,4$ ($c = 1 \div 2$ в 5 М HCl); $-86,2$ ($c = 1 \div 2$ в H_2O). pK_a 1,95; 10,64. Раств-сть: DL р. H_2O, EtOH; м. р. $CHCl_3$, ац., бенз.; н. р. эф.; L $162,3^{25}$, 239^{65} H_2O; 67^{19} EtOH; н. р. эф. Моногидрохлорид: $t_{пл}$ DL 159; L 115.
Пропионилхолинхлорид	$(CH_3)_3\overset{+}{N}CH_2CH_2OCOCH_2CH_3\ \overset{-}{Cl}$ *M* 195,7	Гигр. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; н. р. эф. Субстрат для псевдохолинэстеразы, гораздо медл. гидрол. ацетилхолинэстеразой. Быстро гидрол. в кипящих кисл. Неуст. в раств. Перхлорат более уст., более подходящий стандарт.
Путресцин (1,4-бутандиамин; 1,4-диаминобутан; тетраметилендиамин)	$H_2NCH_2CH_2CH_2CH_2NH_2$ *M* 88,2 Дигидрохлорид: *M* 161,1	Бесцв. листочки, плавящиеся до бесцв. жидк. d_4^{25} 0,877. $t_{пл}$ 27 ÷ 28. $t_{кип}$ 158 ÷ 160. pK_a 1) $9,35^{20}$; $9,04^{30}$; $8,83^{40}$; 2) $10,80^{20}$; $10,50^{30}$; $10,26^{40}$. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; м. р. эф. Дигидрохлорид: бесцв. иглы или таблетки; $t_{пл}$ 315 (разл.); х. р. H_2O, гор. EtOH, о. п. р. хол. EtOH; н. р. эф.
Саркозин (N-метилглицин)	CH_3NHCH_2COOH *M* 89,1	Распл. бесцв. крист. Сладковатый вкус. $t_{пл}$ 212 (разл.). pK_a 2,12; 10,2. Раств-сть: 42,8 H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф. Гидрохлорид: бесцв. иглы из H_2O/EtOH; $t_{пл}$ 171; х. р. H_2O, м. р. EtOH, эф.
Серин (2-амино-3-гидроксипропионовая кислота; β-гидроксиаланин; Ser)	 D_S-серин  L_S-серин *M* 105,1	Призмы или пластинки. Сладкий вкус. $t_{пл}$ DL 246 (разл.); L 228 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L $+15,1$ ($c = 2$ в 5 М HCl); $-7,5$ ($c = 2$ в H_2O). pK_a 2,19; 9,21. Раств-сть: DL $5,0^{25}$, $19,2^{75}$ H_2O; $0,00067^{25}$ EtOH; н. р. эф.; L 25^{20} H_2O; н. р. EtOH, эф. Соединение, относительно конфигурации которого определяются конфигурации α-аминокислот. При кисл. гидрол. белка в значит. степени теряется. Разрушается гор. разб. щел. Рацемизуется в водн. раств. при pH 9. Хранить в тв. виде в эксикаторе.

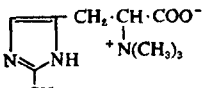
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Соматостатин (фактор, тормозящий освобождение соматотропина – гормона роста; соматотропинингибирующий фактор; СИФ)	 *M* 1638	$[\alpha]_D^{25}$ −36 (c = 0,5 в 1%-ной укс. кисл.) Ингибирует освобождение соматотропина (гормона роста) передней долей гипофиза и тиреотропина (но не пролактина). Ингибирует секрецию инсулина, глюкагона и гастрина. И окисленная (дисульфидная), и восстановленная (тиольная) формы обладают биол. активностью. [D-Trp^8]-Соматостатин более активен, чем природный [L-Trp^8]. [Tyr^1]-Соматостатин (т. е. Tyr-Gly и т. д.) и Tyr-соматостатин (т. е. Tyr-Ala-Gly- и т. д.) использ. как иодируемые аналоги.
Спермидин (N-(3-аминопропил)-1,4-диаминобутан; 1,8-диамино-4-азаоктан)	$H_2N(CH_2)_3NH(CH_2)_4NH_2$ *M* 145,2 Тригидрохлорид: *M* 254,6	Три-HCl: крист. $t_{пл}$ 258. Раств-сть: р. H_2O. Фосфатная соль гораздо более растворима в H_2O, чем сперминфосфат.
Спермин (N,N′-бис(3-аминопропил)-1,4-диаминобутан; 1,12-диамино-4,9-диазадодекан)	 *M* 202,3 Тетрагидрохлорид: *M* 348,2	Бел. распл. иглы. $t_{пл}$ 55 ÷ 60. $t_{кип}$ 150^5. Тетрагидрохлорид: крист. $t_{пл}$ 310 ÷ 311 (разл.). Раств-сть: р. H_2O, EtOH, *н*-бутанол; н. р. эф., бенз. Сильн. основание, поглощает CO_2 из возд. Сперминфосфат $C_{10}H_{26}N_4 \cdot 2H_3PO_4 \cdot 6H_2O$: *M* 506,4; бесцв. крист.; Раств-сть: 0,037^{20}, 1,0^{100} H_2O, р. разб. кисл. и щел. Получ. [см. **BJ 18**, 1263 (1924)].
Таурин (2-аминоэтансульфоновая кислота)	$H_2NCH_2CH_2SO_3H$ *M* 125,2	Иглы. $t_{пл}$ 320 (разл.). pK_a 1,5 (SO_3H); 9,06 (NH_2). Раств-сть: 3,93^0; 10,48^{25}, 45,76^{100} H_2O, 0,0032^{17} EtOH; н. р. эф. Уст. к кипящим кисл. Соль Hg использ. для выд. и идент.
Тирамин (*п*-(2-аминоэтил)-фенол; 4-гидроксифенэтиламин)	 *M* 137,2 Гидрохлорид: *M* 173,6	Иглы или листочки. $t_{пл}$ 166. $t_{кип}$ 205^{25}. pK_a 9,74; 10,52. Раств-сть: 1,05^{15} H_2O; 10 EtOH; р. бенз.; м. р. эф., $CHCl_3$. Гидрохлорид: крист. из конц. HCl; $t_{пл}$ 268, х. р. H_2O.
Тирозин (3-4-гидроксифенил)аланин; Tyr)	 *M* 181,2	Иглы. $t_{пл}$ DL 316 (разл.). L 342 ÷ 344 (разл.) $[\alpha]_D^{25}$ −10,0 (c = 2 в 5 M HCl). pK_a 2,20 (COOH); 9,21 (NH_2); 10,46 (OH). Раств-сть: DL 0,035^{25}, 0,084^{50} H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф.; L 0,045^{25}, 0,244^{75} H_2O; 0,01^{17} 95%-ный EtOH; р. щел.; н. р. эф., ац. Спектр: в 0,1 M HCl λ_{max} 223 нм (ε 8200) и 274,5 нм (ε 1340); в 0,1 M NaOH λ_{max} 240 нм (ε 11050) и 293,5 нм (ε 2330); на спектр влияет ионизация OH-гр. в щел. раств. [Adv. Protein Chem. **7**, 319 (1952)]. Чистый L -тирозин уст. в 2,5 M H_2SO_4 или 5 M NaOH в течение 30 ч при 100°C; нагрев. с кисл. в присутствии углеводов приводит к деструкции. ⩽18% тирозина теряется при NaOH-гидрол. белка.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
L-Тироксин (3,5,3′,5′-тетрайодотиронин; O-(4-гидрокси-3,5-дииодофенил)-3,5-дииодотирозин; T_4)	 *M* 776,9 Na-соль: *M* 789,9 Гидрат: *M* 888,9	Бел. иглы. $t_{пл}$ 236 (разл.). Na-соль: бел. крист. +5 H_2O. $[\alpha]_D^t$ −4,5 до −5,7 (в смеси 1:2 1 M NaOH–EtOH); +15 (c = 5 в смеси 1:2 1 M HCl – ~95%-ный EtOH). pK_a 2,2 (COOH); 6,45 (OH); 10,1 (NH_2). Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. щел.; н. р. EtOH, эф.; Na-соль м. р. H_2O. Неуст. на свету, теряет иод. Медл. разл. даже на хол. Деиодирование происходит при гидрол. белка, особ. кисл. Сильно адсорбируется на стекле из разб. раств. [BBA **41**, 252 (1960)]. Образует нераств. хелаты с Mg^{2+}, Mn^{2+} и др. двухзарядными ионами. Спектр: в 0,04 M HCl λ_{max} 295 нм, ε 4160; в разб. NaOH λ_{max} 227 нм (ε 48560) и 325 нм (ε 6210).
Треонин (2-амино-3-гидроксибутановая кислота; Thr)	 L-треонин  L-*алло*-треонин *M* 119,1 Гидрат: *M* 128,1	DL и L: крист. +$^1/_2$ H_2O. L: $t_{разл}$ 225 ÷ 227. $[\alpha]_D^{25}$ L −15,0 (c = 1 ÷ 2 в 5 M HCl); −28,5 (c = 1 ÷ 2 в H_2O); L-*алло* +10,0 (c = 1 ÷ 2 в 5 M HCl); +31,7 (c = 1 ÷ 2 в H_2O). pK_a *н*-изомеров 2,09; 9,10; *алло*-изомеров 2,11, 9,10. Раств-сть: DL 20^{25} H_2O; 0,07 95%-ный EtOH; $0{,}0054^{25}$ EtOH; н. р. $CHCl_3$; L р. H_2O; н. р. EtOH, эф. $CHCl_3$; DL-*алло* $13{,}9^{25}$ H_2O; $0{,}3^{25}$ 95%-ный EtOH; L-*алло* р. H_2O; о. п. р. EtOH. Быстро разрушается гор. разб. щел. и медл. кисл. при высоких темп. Значит. потери происходят при гидрол. белка. Хранить в тв. виде в эксикаторе.
3,5,3′-Трииодо-L-тиронин (T_3; O-(4-гидрокси-3-иодофенил)-3,5-дииодо-L-тирозин)	 *M* 651,0	Крист. $t_{пл}$ 236 ÷ 237 (разл.). $[\alpha]_D^{24}$ +23,6 (c = 5 в смеси (1:2) 1 M HCl–EtOH pK_a 2,2 (COOH); 8,40 (OH); 10,1 (NH_2). Раств-сть: р. щел.; о. п. р. H_2O; н. р. EtOH. Неуст. на свету, теряет иод. Медл. разл. даже на хол. Деиодирование происходит при нагрев. в сильн. кисл. или, в меньшей степени, в щел. Адсорбируется на стекле из разб. раств. Спектр: в 0,04 M HCl λ_{max} 295 нм, ε 4090; в разб. NaOH λ_{max} 224 нм (ε 49200) и 320 нм (ε 4660). Гидрохлорид: иглы; $t_{пл}$ 202 ÷ 203.
Триметиламии (N,N-диметиламиометаи)	$(CH_3)_3N$ *M* 59,1 Гидрохлорид: *M* 95,6	Бесцв. газ. Резкий рыбный запах. $t_{пл}$ −124. $t_{кип}$ 3,5. Гидрохлорид: крист. $t_{пл}$ 277 ÷ 278 (разл.). pK_a $9{,}91^{20}$; $9{,}69^{30}$; $9{,}48^{40}$. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; р. эф.; гидрохлорид р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$; и. р. эф.
Триметиламиноксид (N-оксид N,N-диметиламинометана)	$(CH_3)_3NO$ *M* 75,1 Гидрат: *M* 111,4	Распл. иглы +2 H_2O. Теряет H_2O 96. $t_{пл}$ 257. pK_a $4{,}65^{20}$. Раств-сть: р. H_2O, MeOH, EtOH, гор. $CHCl_3$; н. р. эф. Водн.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		раств. имеет сильнощел. р-цию. При нагрев. разл. до диметиламина и формальдегида. Гидрохлорид: при 185 темнеет; разл. 204 ÷ 226; р. H_2O, гор. MeOH.
Триптамин (3-(2-аминоэтил)-иидол)	 M 160,2 Гидрохлорид: M 196,7	Крист. $t_{пл}$ 118. pK_a 10,2 Раств-сть: х. р. EtOH, ац.; м. р. H_2O, эф. Моногидрохлорид: бесцв. призмы из EtOH/эф.; $t_{пл}$ 252 ÷ 253; х. р. H_2O; спектр: в 95%-ном EtOH λ_{max} 282 нм (ε 6000) и 290 нм (ε 5100).
Триптофан (α-амино-3-индолилпропионовая кислота: Trp)	 M 204,2	Бесцв. пластинки. $t_{пл}$ DL 283 ÷ 285. L 289 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L +2,8 ($c = 1 \div 2$ в 1 M HCl); −33,7 ($c = 1 \div 2$ в H_2O). pK_a 2,46; 9,41. Раств-сть: DL $0{,}25^{30}$ H_2O; м. р. EtOH; L $1{,}14^{25}$, $2{,}8^{75}$ H_2O; м. р. EtOH; н. р. $CHCl_3$, эф. Спектр: в 0,1 M HCl λ_{max} 218 нм (ε 33500), 278 нм (ε 5550), 287,5 нм (ε 4550); с изменением pH меняется незиачительно. Неуст. в минер. кисл. в присутствии углеводов, $CuSO_4$, $FeSO_4$, альдегидов; полн. разрушается при гидрол. белка. Уст. в 5 M NaOH при 125°C в отсутствие углеводов. Хранить в тв. виде в темноте; темнеет при длительном освещении.
Урокановая кислота (уроканиновая кислота; 3-(1H-имидазол-4-ил)пропеи-2-овая кислота)	 M 138,1 Гидрат: M 174,1	*Транс:* выветр. бел. иглы или призмы +2 H_2O. $t_{пл}$ 225 (разл.). *Цис.* $t_{пл}$ 175 ÷ 179. pK_a *транс* 3,5; 5,8; *цис* 3,0; 6,7. Раств-сть: $0{,}1^0$, $0{,}6^{37}$, $6{,}0^{100}$ H_2O; р. HCl, NaOH. *Цис*-меиее уст. изомер, при синт. образуется гл. обр. *транс*. Медл. теряет H_2O при коми. т.; безводн. при 100°C. Спектр: *транс* pH 2 λ_{max} 267 нм; pH 5 264 нм; pH 7,2–11 277 нм (ε 18800) [JBC **201**, 775 (1953)]: *цис* pH 2 λ_{max} 269 им; pH 5 263 нм; pH 10,7 282 им. Na-соль и гидрохлорид: х. р. H_2O.
Фенилаланин (2-амино-3-фенилпропионовая кислота; Phe)	 M 165,2	Листочки или иглы. Субл. в вакууме. $t_{пл}$ DL 271 ÷ 273 (разл.); L 283 ÷ 284 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L −4,47 ($c = 1 \div 2$ в 5 M HCl); −34,5 ($c = 1 \div 2$ в H_2O). pK_a 2,20; 9,31. Раств-сть: DL $1{,}42^{25}$, $3{,}71^{75}$ H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф.; L $2{,}96^{25}$, $6{,}62^{75}$ H_2O; о. п. р. MeOH, EtOH; н. р. эф. Неуст. к щел.; 75% разрушается за 5 ч при 110–115°C в 5 M NaOH. Спектр: в 0,1 M HCl λ_{max} 257,5 нм, ε 195, с изменением pH меняется незначительно; имеется несколько минорных пиков между 240 и 270 нм [Adv. Protein Chem. **7**, 319 (1952)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
N-Формимино-L-глутаминовая кислота (N-иминометилглутаминовая кислота)	 *M* 174,2	Бесцв. гигр. крист. $t_{пл}$ 80 ÷ 87 (разл.) $[\alpha]_D^{28}$ −10,3 (c = 0,8 в 1 М HCl). pK_a 2,7; 4,4; 11,3. Раств-сть: х. р. H_2O; р. MeOH, EtOH; н. р. эф., ац., $CHCl_3$. Неуст. в водн. раств. при щел. pH или при нагрев.; нейтр. или кисл. раств. уст. Соль Ba: $[\alpha]_D^{20}$ −9,8 (c = 2,5 в H_2O). Соль Hg: н. р. H_2O, EtOH, эф. Получ. см. [Biochem. Preps. **5**, 100 (1957)].
Хинолиновая кислота (пиридин-2,3-дикарбоновая кислота)	 *M* 167,1	Призмы $t_{пл}$ 190 (разл.) (быстрое нагрев.). pK_a 2,43; 4,78. Раств-сть: 0,55[6], р. гор. H_2O; м. р. EtOH; 0,02 эф.; н. р. бенз. Разл. до никотиновой кисл. при 110–190°C, так что смесь снова твердеет и плавится при 225–236°C. Спектр: λ_{max} 268 нм, ε 4000 (в кисл.). Соль Cu: менее растворима в H_2O, чем свободная кисл.
Холин (N-(2-гидроксиэтил)-N,N,N-триметиламмонийгидроксид; (2-гидроксиэтил)триметиламмонийгидроксид; билинейрин; синкалин)	 *M* 121,2 Хлорид: *M* 139,6	Бесцв. вязкий сироп или бесцв. крист. Хлорид: о. гигр. крист. pK_a 13,9. Раств-сть: х. р. H_2O; р. EtOH: м. р. амиловый спирт; н. р. эф.; $CHCl_3$; хлорид: х. р. H_2O, EtOH. Имеет сильно щел. р-цию, поглощает CO_2 из возд. Хлорид: водн. раств. имеет близкую к нейтр. р-цию.
Холин, цитидиндифосфатное производное (питидин-5′-дифосфохолин; CDP-холин)	 CDP – остаток цитидин-5′-дифосфата *M* 506,3	Гигр. порошок. Раств-сть: р. H_2O. 1 М H_2SO_4 при 100°C за 18 мин вызывает 50%-ный гидрол. до CMP и фосфорилхолина; 7,5% фосфата освобождается в виде P_i через 40 мин. Спектр: идентичен CMP в диапазоне 245–300 нм; A_{280}/A_{260} = 2,17.
Цистамии (цистинамин; 2,2′-дитиобис(этиламин); 2,2′-диаминодиэтилдисульфид)	 *M* 152,3 Дигидрохлорид: *M* 225,2	Вязкое масло. $t_{кип}$ 106 ÷ 108[5]. Дигидрохлорид: иглы или пластинки. $t_{пл}$ 217. pK_a 8,82[30]; 9,58[30]. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH; дигидрохлорид р. H_2O; м. р. эф. Разл. при перегонке даже при высоком вакууме.
L-Цистатионин ((R)-S-(2-амино-2-карбоксиэтил)-L-гомоцистеин)	 *M* 222,3	Бесцв. крист. При 270 ÷ 274 темнеет. $t_{разл}$ 301 ÷ 312. $[\alpha]_D^{24}$ +23,7 (c = 1 в 1 М HCl). Раств-сть: р. H_2O, минер. кисл.; н. р. EtOH. Конфигурация молекулы определяется конфигурацией «цистеинового» центра. В *алло*-изомерах два оптических центра имеют противоположные конфигурации. L-*алло*-пистатионин: $[\alpha]_D^{21}$ −25 (c = 1 в 1 М HCl). Разделение и ИК-спектры цистатионина и *алло*-цистатионина см. [ZPC **305**, 105 (1956)].
Цистеамин (2-аминоэтантиол; 2-меркаптоэтиламин; тиоэтаноламин).	$HSCH_2CH_2NH_2$ *M* 77,1 Гидрохлорид: *M* 113,6	Бел. тв. в-во. $t_{пл}$ 99 ÷ 100. Гидрохлорид: гигр. бел. пластинки. $t_{пл}$ 70 ÷ 72. pK_a 8,35; 10,81. Раств-сть: р. H_2O,

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		95%-ный EtOH; гидрохлорид: р. H_2O, EtOH. Предохраняет от радиационного поражения. Свободное основание очень неуст., окисл. на возд. и должно быть использ. сразу после получ. Гидрохлорид более уст. N-Ацетилцистеамин: гигр. масло; $t_{кип}$ 138 ÷ 140[7].
Цистеин (2-амино-3-меркаптопропионовая кислота; Cys)	$HSCH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 121,2 Гидрохлорид: *M* 157,6	L: крист. порошок. $t_{пл}$ 240 (разл.). Гидрохлорид: м. гигр. крист. $t_{пл}$ 178 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L +6,5 (*c* = 2 в 5 M HCl); −16,5 (*c* = 2 в H_2O). pK_a 1,92 (COOH); 8,37; 10,70. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; р. лед. укс. кисл., NH_4OH; н. р. эф., ац.; гидрохлорид х. р. H_2O; р. EtOH, ац. Водн. раств. окисл. до цистина при контакте с возд. при нейтр. и щел. pH. Окисл. ускоряется в присутствии тяжелых металлов, особ. Cu и Fe. Отн. уст. в кисл.; хранить в виде гидрохлорида. S-Карбоксиметил-L-цистеин: $t_{пл}$ 197 ÷ 203; $[\alpha]_D^{25}$ 0,0. Получ. см. [J. Org. Chem. **23**, 1251 (1958)].
L-Цистеиновая кислота (3-сульфо-L-аланин; 2-амино-3-сульфопропионовая кислота)	$HO_3SCH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 169,2 Гидрат: *M* 187,2	Безводн. бесцв. крист. из водн. EtOH. $t_{пл}$ 260 (разл.). Призмы или иглы + 1H_2O из H_2O. $t_{пл}$ 289 (разл.). $[\alpha]_D$ +8,66 (*c* = 7,4 в H_2O). pK_a 1,3 (SO_3H); 1,9 (COOH); 8,70 (NH_2). Раств-сть: х. р. H_2O; н. р. EtOH. При нагрев. с H_2O под давл. образует таурин.
L-Цистеинсульфиновая кислота (α-амино-β-сульфинопропионовая кислота; 3-сульфино-L-аланин)	$HO_2SCH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 153,2	Крист. $t_{разл}$ 152 ÷ 153 (вспенивание). $[\alpha]_D^t$ +11 (в H_2O); +24 (*c* = 1 в 1 M HCl). pK_a ~2,1. Раств-сть: р. H_2O. В результате р-ции с пистеином в H_2O образует цистин.
Цистин (3,3′-дитиобис(2-аминопропионовая кислота), дицистеин)	$S \cdot CH_2 \cdot CH(NH_2) \cdot COOH$ $S \cdot CH_2 \cdot CH(NH_2) \cdot COOH$ *M* 240.3	DL и L: крист. $t_{пл}$ 260 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ L −232 (*c* = 1 в 5 M HCl); −70 (*c* = 1 в 1 M NaOH). pK_a < 1[35]; 2,1[35]; 8,02[35]; 8,71[35]. Раств-сть: DL 0,003[20], 0,01[50] H_2O; L 0,011[25], 0,052[75], 0,114[100] H_2O; р. минер. кисл., щел., NH_4OH; н. р. EtOH, эф., $CHCl_3$. Большие потери происходят при кисл. гидрол. белка в присутствии углеводов. Спектр: λ_{max} 249 нм, ε 340 (в 0,1 M NaOH). *мезо*-Цистин: $t_{разл}$ 200 ÷ 218. Раств-сть: 0,0056[25] H_2O. Выд. см. [JBC **102**, 287 (1933)]. Диметил-L-цистин: $t_{пл}$ 216 ÷ 218; $[\alpha]_D^{22}$ +75,7 (*c* = 1 в 1 M HCl).
Цитруллин (N-5-аминокарбонилорнитин; N-δ-карбамоилорнитин; 2-амино-5-уреидопентановая кислота)	 *M* 175,2	Бел. иглы. $t_{пл}$ 220 (разл.) $[\alpha]_D^{25}$ L +4,0 (*c* = 2 в H_2O); +24,2 (*c* = 2 в 1 M HCl). pK_a L 2,43; 9,69. Раств-сть: р. H_2O; н. р. MeOH, EtOH, эф. Уст. к кисл., неуст. к

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		щел. (образуется орнитин, NH_3 и CO_2). Гидрохлорид (L): $t_{пл}$ 185 (разл.); $[\alpha]_D^{22}$ +17,9 ($c = 2$ в H_2O).
β-Эндорфин (С-фрагмент)	Tyr-Gly-Gly-Phe-^{5}Met-Thr-Ser-Glu-Lys-^{10}Ser-Gln-Thr-Pro-Leu-^{15}Val-Thr-Leu-Phe-^{20}Lys-Asn-Ala-Ile-Ile-Lys-^{25}Asn-Ala-Tyr-^{30}Lys-Lys-Gly-Gln β-эидорфин (человека) *M* 3464	Бел. аморф. порошок. Природный опиоидный пептид обладает мощным агонистическим действием на опиатные рецепторы. Действие подавляется налоксоном. β-Эндорфин имеет ту же аминокислотную последовательность, что и β-липотропин в области остатков 61–91. α-Эндорфин соответствует 1–16 остаткам β-эндорфина, γ-эндорфин – 1–17 остаткам и δ-эндорфин – 1–27 остаткам; все они обладают опиоидной активностью. Эндорфин – общее название эндогенных пептидов, обладающих опиоидной активностью; перечисленные здесь эидорфины и энкефалины – наиболее охарактеризованные члены гр.
Энкефалин	Tyr-Gly-Gly-Phe-Met [Met^5]-энкефалин *M* 574 Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu [Leu^5]-энкефалин *M* 556	Бел. аморф. порошок. Природные опиоидные пептиды обладают мощным агонистическим действием на опиатные рецепторы. Действие подавляется налоксоном. [Met^5]-энкефалин имеет ту же аминокислотную последовательность, что и эндорфины в области остатков 1-5. Неуст. в крови; от N-конца отщепляется Tyr. Аналог, [D-Ala^2, Met^5]-энкефалинамид, обладает более сильной и длительной фармакол. активностью, т. к. не разрушается столь быстро, как энкефалин.
L-Эрготионеин (тионеин; тиолгистндинтриметилбетаин; бетаин 2-меркаптогистидина)	 *M* 229,3 Гидрат: *M* 265,3	Листочки +2 H_2O из H_2O. Безводн. иглы из EtOH. $t_{пл}$ 256 ÷ 257 (разл.). $[\alpha]_D^{27.5}$ + 115 ($c = 1$ в H_2O). Раств-сть: 11,6^{20}, х. р. гор. H_2O; м. р. гор. EtOH; н. р. хол. EtOH, $CHCl_3$, бенз. Более мощный восстановитель, чем цистеин и глутатион. С сильн. щел. дает триметиламин и тиолимидазолил-4-акриловую кисл. Спектр: λ_{max} 258 нм, ε 16000 (pH 2–9). Получ. см. [Vitams Horm. **17**, 155 (1959); JCS **1951**, 2215].
Этаноламин (2-аминоэтанол; 2-гидроксиэтиламин; коламин)	$H_2NCH_2CH_2OH$ *M* 61,1	Вязк. гигр. бесцв. жидк. d_4^{20} 1,018. $t_{пл}$ 10,5, $t_{кип}$ 170,8. pK_a 9,65^{20}; 9,35^{30}; 9,07^{40}. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH; 0,72 эф.; р. $CHCl_3$; м. р. бенз. Поглощает CO_2 из возд. Гидрохлорид: распл. крист.; $t_{пл}$ 76.
Энтаноламин, цитидиндифосфатное производное (CDP-этаноламин; цитидин-5′-дифосфоэтаноламин)	$H_2NCH_2CH_2O$-CDP CDP – цитидин-5′-дифосфатный остаток *M* 446,3	Гигр. порошок. Раств-сть: р. H_2O.

2 Карбоновые кислоты, спирты, альдегиды и кетоны

Карбоновые кислоты и альдегиды, содержащие семь или более атомов углерода, включены в разд. 8 «Липиды и высокомолекулярные кислоты».

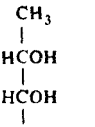
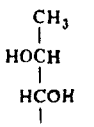
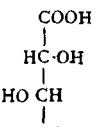
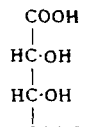
Оптически активные соединения. Для некоторых оптически активных соединений приведены свойства только одного оптического изомера (энантиомера), обычно наиболее часто встречаемого (в живых организмах). Свойства другого энантиомера аналогичны, за исключением того, что знак оптического вращения обратный.

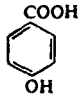
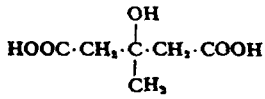
pK_a. Большинство данных взято из работы [*Kortüm G., Vogel W., Andrussow K.* Dissociation constants of organic acids in aqueous solution, Butterworth, 1961; Serjeant E. P., Dempsey B. Ionisation constants of organic acids in aqueous solution, IUPAC Chemical Data Series No. 23, Pergamon, 1979].

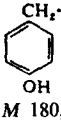
Способность образовывать хелаты с металлами отражена в разд. 17 «Константы устойчивости для комплексов металлов».

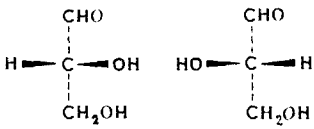
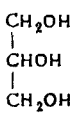
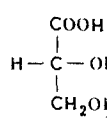
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Адипиновая кислота (гександиовая кислота; бутан-1,4-дикарбоновая кислота)	$HOOC(CH_2)_4COOH$ *M* 146,1	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 153. $t_{кип}$ 265^{100}. pK_a 4,44; 5,44. Раств-сть: $1,5^{15}$, 160^{100} H_2O; х. р. EtOH; р. ац.; $0,6^{15}$ эф.; н. р. бенз.
Аконитовая кислота, *цис*-изомер (пропен-1,2,3-трикарбоновая кислота)	$HOOC \cdot CH_2 \cdot C(=CH \cdot COOH) \cdot COOH$ *M* 174,1	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 130. pK_a $1,95^{20}$. Раств-сть: р. H_2O; м. р. эф. В тв. состоянии уст. в течение $\geqslant 3$ мес при комн. т. В раств. уст. при pH 7–10, но изомеризуется в *транс*-изомер при более высоких и низких pH [J. Org. Chem. **13**, 399 (1948); BJ **38**, 426 (1944)]. Обзор см. [Adv. Carbohydr. Chem. **6**, 231 (1951)].
транс-изомер	$HOOC \cdot CH_2 \cdot C(=CH \cdot COOH) \cdot COOH$ *M* 174,1	Крист. $t_{пл}$ 190 ÷ 210 (разл.). pK_a 2,80; 4,46. Раств-сть: $26,4^{25}$, $110,7^{90}$ H_2O; 50^{12} 88%-ный EtOH; м. р. эф. Соли обычно получают нейтрализацией ангидрида.
Акриловая кислота (пропен-2-овая кислота; винилмуравьиная кислота)	$CH_2{=}CHCOOH$ *M* 72,1	Бесцв. жидк. d_4^{16} 1,062. Едкий запах. $t_{пл}$ 13. $t_{кип}$ 142; $54 \div 56^{25}$. pK_a 4,25. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф. Едкое в-во, вызывающее коррозию. Легко полимеризуется в присутствии O_2. Стабилизируется добавл. гидрохиноиа. $\lambda_{max} < 210$ нм; λ_{max} и ε меняются с конц.
Ацетальдегид (этаналь)	CH_3CHO *M* 44,1	Бесцв. дымящая воспламеняющаяся жидк. d_4^{16} 0,788. $t_{пл}$ −121. $t_{кип}$ 21. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф., бенз. Перегнанный ацетальдегид в виде 2 М водн. раст. можно хранить при −20°C неограниченно долго. Разб. раств. можно хранить на хол. $\geqslant 1$

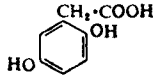
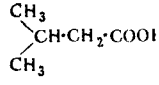
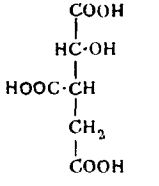
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		нед. Легко полимеризуется при комн. т. 2,4-Динитрофенилгидразон: $t_{пл}$ 167; спектр: в $CHCl_3$ λ_{max} 354 нм, ε 22200 (нейтр. среда); λ_{max} 430 нм, ε 22500 (щел. среда).
Ацетоин (3-гидроксибутанон-2; ацетилметилкарбинол)	$CH_3COCH(OH)CH_3$ *M* 88,1	(±): жидк. d_4^{20} 1,006. Приятный запах. $t_{пл}$ −72. $t_{кип}$ 148. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; м. р. эф. Восстанавливает жидк. Фелинга. В тв. состоянии образует димеры; $t_{пл}$ 95. Димер → мономер в водн. раств. (−)- Ацетоин: $[\alpha]_D \sim -82$.
Ацетон (пропанон-2, диметилкетон)	CH_3COCH_3 *M* 58,1	Бесцв. воспламеняющаяся жидк. d_4^{20} 0,792. $t_{пл}$ −95. $t_{кип}$ 56,2. Раств-сть: ∞ H_2O,EtOH, эф., большинство орг. раств-лей. 2,4-Динитрофенилгидразон: желт. иглы; $t_{пл}$ 128; спектр: в $CHCl_3$ λ_{max} 364 нм, ε 22400 (нейтр. среда); λ_{max} 431 (ε 20000) и 530 нм (щел. среда).
Ацетоуксусная кислота (3-оксобутановая кислота)	CH_3COCH_2COOH *M* 102,1	Бесцв. сироп или крист. $t_{пл}$ 36 ÷ 37. pK_a 3,62. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH; р. эф. Неуст. при нагрев. Крист. уст. в сухом состоянии, но плавятся на возд. Соли часто получают в водн. раств. путем гидрол. свежеперегианного этилового эфира небольшим избытком щел.
Li-соль	CH_3COCH_2COOLi *M* 108,0	Негигр. крист. $t_{пл}$ 180 ÷ 190 (разл.). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Уст. несколько мес. в вакууме при 0–4°C. Нейтр. раств. уст. ⩾2–3 нед. при −15°C. Спектр: λ_{max} 273 нм, ε 50 (в H_2O); λ_{max} 267 нм, ε 148 (в 0,1 м NaOH); λ_{max} 247 нм, ε 73 (в 0,1 М HCl). Получ. см. [Biochem. Preps. **10**, 1 (1963)].
Бензойная кислота (бензолкарбоновая кислота)	 *M* 122,1	Крист. $t_{пл}$ 122. $t_{кип}$ 249. pK_a 4,2. Раств-сть: 0,18[4], 0,29[20], 6,8[95] H_2O; 47,1[15], 66[78] EtOH; 40[15] эф.; 22 $CHCl_3$. Начинает субл. при 100°C. Спектр: в H_2O λ_{max} 230 нм (ε 11600) и 273 нм (ε 970); бензоат-анион в H_2O 224 им (ε 8700) и 268 нм (ε 560).
Na-соль	C_6H_5COONa *M* 144,1	Бел. аморф. порошок. Раств-сть: 66[20], 74,2[100] H_2O; 1,64[25], 8,3[78] EtOH. Водн. раств. имеет слабощел. р-цию (pH ~ 8).
K-соль	$C_6H_5COOK \cdot 3H_2O$ Гидрат: *M* 214,3	Бел. крист. порошок. Раств-сть: 52[25], 112[100] H_2O; р. безв. EtOH. Теряет H_2O при 110°C.

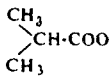
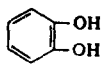
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Бутандиол-2,3 (2,3-бутиленгликоль)	 *мезо-(эритро-)*  D-*(трео-)* *M* 90,1	*Мезо:* гигр. крист. $t_{пл}$ 34,4. $t_{кип}$ 181,7. DL: жидк. d_4^{20} 1,003. $t_{пл}$ 7,6. $t_{кип}$ 182,5. D: гигр. крист. $t_{пл}$ 34. $t_{кип}$ 180 ÷ 182. $[\alpha]_D^{25}$ − 13,2 (чистое в-во). Раств-сть: *мезо* х. р. H_2O; р. EtOH, эф.; DL, D и L: ∞ H_2O, EtOH; р. эф. Три изомера *мезо-(эритро-)*, D(−)-*трео-* и L(+)-*трео-* образуются при брожении, вызываемом разл. организмами, напр. *Aerobacter aerogenes* образует 90–95% *мезо-* плюс небольшое кол-во L(+)-изомера, а *Bacillus polymyxa* образует только D(−)-изомер. В продажу поступает обычно *мезо-* илн D(−)-изомер.
н-Валериановая кислота (пентановая кислота)	$CH_3(CH_2)_3COOH$ *M* 102,1	Бесцв. жидк. d_4^{20} 0,939. $t_{пл}$ − 59. $t_{зам}$ − 33,8. $t_{кип}$ 186. pK_a 4,81. Раств-сть: 3,7^{16} H_2O; р. EtOH, эф. Соли менее раств., чем соли изовалериановой кисл.
Винная кислота (2,3-дигидроксиянтарная кислота; DL – рацемическая кислота; виноградная кислота; L(+) – обыкновенная винная кислота; L_g – *трео*-дигидроксибутандиовая кислота; *мезо* – антивиинаая; *эритро*-дигидроксибутандиовая кислота)	 L(+)  *мезо* *M* 150,1 Моногидрат: *M* 168,1	DL: крист. + 1 H_2O, слабо выветриваются; $t_{пл}$ безводн. 206. L(+): призмы. $t_{пл}$ 171–174. $[\alpha]_D^{20}$ +12,0 (c = 20 в H_2O); $[\alpha]_D$ + 0,47 (в MeOH). *Мезо:* пластинки + 1 H_2O. $t_{пл}$ безводн. 146 ÷ 148. pK_a DL, D и L 3,03; 4,37; *мезо* 3,17; 4,91. Раств-сть: DL 9,23^0, 20,6^{20}, 185^{100} H_2O; 3,9^{25} EtOH; 1,1 эф.; L(+): 139,5^{20}, 343^{100} H_2O; 20,4^{15} EtOH; 0,4 эф.; р. MeOH, ац.; н. р. $CHCl_3$; *мезо*: 125^{15} H_2O; р. EtOH; м. р. эф. DL: гидрат теряет H_2O при 100°C. Безводн. форма может быть также получена перекр. из H_2O > 73°C или из EtOH. L(+): широко распространен в плодах, винах и т. д. D(−)-изомер встречается в природе, напр. в вине, но в гораздо меньших кол-вах, чем L-изомер.
соль NH_4	$C_4H_4O_6(NH_4)_2$ *M* 184,2	DL: призмы или бел. гранулы. Раств-сть: х. р. H_2O; о. п. р. EtOH. L(+): бел. крист. $[\alpha]_D^{15}$ +34,6 (c = = 1,84 в H_2O). Раств-сть: 58,1^{15}, 87,2^{60} H_2O; м. р. EtOH. Крист. медл. выделяют NH_3. Водн. раств. имеет слабокисл. р-цию (pH 6,5).
кислая соль Na	$C_4H_4O_6NaH \cdot H_2O$ Гидрат: *M* 190,1	DL: бел. монокл. крист. + 1H_2O. Раств-сть: 8,9^{19} H_2O; н. р. EtOH. L(+): бел. крист. + 1H_2O; $[\alpha]_D^{19}$ +21,8 (в H_2O). Раств-сть: 6,7^{18}, 50^{100} H_2O; о. п. р. EtOH. Теряет H_2O при 100°C. Разл. без плавл. при 219 (DL) или 234°C (L(+)). Водн. раств. имеет кисл. р-цию.

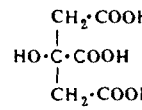
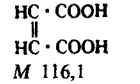
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
кислая соль K (L–неочищенный винный камень; винный камень; кислый виннокислый калий)	$C_4H_4O_6 \cdot KH$ *M* 188,2	DL: бесцв. крист. Раств-сть: $0{,}42^{25}$, $7{,}0^{100}$ H_2O; н. р. EtOH. L: крист. или бел. порошок. Раств-сть: $0{,}53^{20}$, $6{,}1^{100}$ H_2O; н. р. EtOH; р. разб. кисл. и щел. Водн. раств. имеет кисл. р-цию.
соль K (L–растворимый винный камень)	$C_4H_4O_6K_2 \cdot 1/2H_2O$ Гидрат: *M* 235,3	L: бесцв. крист. Раств-сть: 150^{14}, 278^{100} H_2O; о. п. р. EtOH. Теряет H_2O при ~150°C. pH водн. раств. 7–8.
соль KNa (L: виннокислый калий-натрий; сегнетова соль)	$C_4H_4O_6KNa \cdot 4H_2O$ Гидрат: *M* 282,2	L: крист. или порошок; слабо выветривается. Раств-сть: 26^0, 66^{26} H_2O; о. п. р. EtOH. Теряет 3 H_2O при 100°C, безводн. при 130 ÷ 140°C, разл. при 220°C. pH водн. раств. 7–8.
Гексановая кислота (капроиновая кислота)	$CH_3(CH_2)_4COOH$ *M* 116,2	Бесцв. маслянистая жидк. d_4^{20} 0,927. $t_{пл}$ −3,4. $t_{кип}$ 205. pK_a 4,85. Раств-сть: $0{,}97^{20}$, $1{,}17^{60}$ H_2O; р. EtOH, эф.
n-Гидроксибензойная кислота (4-гидроксибензойная кислота)	 *M* 138,1 Гидрат: *M* 156,1	Бесцв. моноклин. крист. +1H_2O. $t_{пл}$ 213 ÷ 214. pK_a 4,67; 9,37. Раств-сть: $0{,}8^{15}$, $2{,}6^{75}$ H_2O; $39{,}3^{15}$ EtOH; $9{,}4^{17}$ эф.; $0{,}01^{11}$ бенз.; н. р. CS_2. Не дает окрашивания с $FeCl_3$. Спектр: в 0,1M HCl λ_{max} 207,5 нм (ε 13400) и 255 нм (ε 13900); при pH 8 (отщепление 1 H^+) 245 нм (ε 11900); в 1M NaOH (отщепление $2H^+$) 280 нм (ε 16300).
3-Гидроксимасляная кислота (3-гидроксибутановая кислота; β-гидроксимасляная кислота)	$CH_3CHOHCH_2COOH$ *M* 104,1	DL: гигр. сироп. D: гигр. сироп. $[\alpha]_D^{15}$ −25,3 (c = 6,1 в H_2O). pK_a 4,41. Раств-сть: DL, D и L х. р. H_2O, EtOH, эф. Перегоняется с паром. Разл. при сухой перегонке, давая кротоновую кисл. и H_2O. Сообщается, что D(−)-изомер способен кристаллизоваться после нескольких мес. стояния, давая о. гигр. крист.; $t_{пл}$ 45 ÷ 48. D(−)-изомер найден в моче больных диабетом и в виде поли-β-гидроксимасляной кисл. в бактериях, однако как промежуточный продукт при окислении жирных кисл. образуется CoA-эфир L(+)-изомера. Получ. D- и L-изомеров и их солей см. [Biochem. Preps. **9**, 63 (1962)].
соль Na	$C_4H_7O_3Na$ *M* 126,1	D: гигр. бел. крист. $[\alpha]_D^{17}$ −14,2 (c = 8,4 в H_2O).
3-Гидрокси-3-метилглутаровая кислота (β-гидрокси-β-метилглутаровая кислота; HMG)	 *M* 162,2	Бесцв. чешуйки. $t_{пл}$ 108 ÷ 109. Раств-сть: р. H_2O, эф. Уст. при хранении в сухом виде. Ангидрид: иглы; $t_{пл}$ 102 ÷ ÷ 103; р. H_2O (дает кисл.).

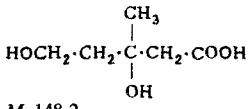
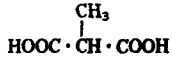
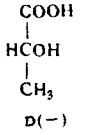
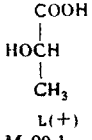
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Гидроксипировиноградная кислота (3-гидрокси-2-оксопропионовая кислота)	$HOCH_2COCOOH$ *M* 104,1 Гидрат: *M* 122,1	Бел. негигр. крист. $+1\ H_2O$. $t_{пл}$ 81 ÷ 82 (энергично разл.). Раств-сть: р. H_2O, эф., ац. Лучше всего хранить в слабокисл. раств., разл. в щел. раств. при pH 11,6. Свободная кисл. существует в оксоформе в тв. состоянии и в водн. раств. Кристаллизационная H_2O удаляется с трудом.
соль Li	$HOCH_2C(OH)_2COOLi$ *M* 128,0 (гидратированный диол)	Бесцв. крист. Раств-сть: р. H_2O. В тв. состоянии существует в виде гидратированного диола, но в водн. раств., по-видимому, в виде оксоформы. В тв. состоянии при 4°C уст. в течение многих мес. Менее уст. в водн. раств., особ. в присутствии щел. Получ. см. [Biochem. Preps. **9**, 86 (1962)].
n-Гидроксифенилмолочная кислота	 *M* 182,2 Полугидрат: *M* 191,2 Моногидрат: *M* 200,2	DL: иглы $+1\ H_2O$. $t_{пл}$ безводн. 144. L: иглы $+1/2\ H_2O$. $t_{пл}$ 169 ÷ 170. $[\alpha]_D$ −19,6 (c = 1,3 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, EtOH; м. р. эф. Гидрат теряет H_2O при 100°C, но не над конц. H_2SO_4. Получ. см. [JACS **73**, 4972 (1951)].
n-Гидроксифенилпировиноградная кислота	 *M* 180,2	Гекс. пластинки. $t_{пл}$ 220 (разл.). Раств-сть: р. EtOH, эф., Et-ацетат; м. р. H_2O, бенз. Разл. в горячих водн. раств. в присутствии возд. Быстро окисл. в щел. раств. до *n*-гидроксибензальдегида. 2,4-Динитрофенилгидразон: $t_{пл}$ 178. Получ. см. [JBC **197**, 309 (1952); Org. Synth. **43**, 49 (1963)].
Гликолевая кислота (гидроксиэтановая кислота; гидроксиуксусная кислота)	$HOCH_2COOH$ *M* 76,1	Листочки или иглы, гигр. $t_{пл}$ 80. pK_a 3,83. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф.
Гликольальдегид (гидроксиэтаналь; гидроксиацетальдегид)	$HOCH_2CHO$ *M* 60,1	Бесцв. пластинки. $t_{пл}$ 97. Раств-сть: х. р. H_2O; гор. EtOH; м. р. эф. Свежеприготовленные водн. раств. содержат димер, который переходит в мономер при стоянии за 24 ч.
Глиоксаль (этандиаль; диформил)	$OHCCHO$ *M* 58,0	Желт. призмы. $t_{пл}$ 15. $t_{кип}$ 51. Раств-сть: х. р. H_2O; р. EtOH, эф. Быстро полимеризуется при стоянии или в присутствии сл. H_2O. Мономер получ. перегонкой полиглиоксаля.
Глиоксиловая кислота (оксоэтановая кислота)	$OHCCOOH$ *M* 74,0 Моногидрат: *M* 92,1	Сироп. или гигр. призмы. pK_a 3,18[30]. Раств-сть: х. р. H_2O; м. р. EtOH, эф. Степень гидратации глиоксиловой кисл. по разным данным различна. Обычная форма – моногидрат с гидратированной оксогруппой, но выделены также полугидрат ($t_{пл}$ 70 ÷ 75) и безводн. форма ($t_{пл}$ 98). Семикарбазон: λ_{max} 252 нм, ε 12400 (в H_2O).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
соль Na	$OHCCOONa \cdot H_2O$ Гидрат: *M* 114,0	Крист. Раств-сть: р. H_2O. Уст. в нейтр. или слабокисл. водн. раств.
Глицеральдегид (2,3-дигидроксипропаналь; глицериновый альдегид)	 D-форма *M* 90,1	DL: димер, крист. (иглы). $t_{пл}$ димера 132 ÷ 145; мономера 69 ÷ 70. Раств-сть: 3^{18} H_2O; о. п. р. EtOH, эф.; и. р. бенз. D: сироп; $[\alpha]_D^{25}$ +8,7 ($c = 2$ в H_2O); +14 (в H_2O). L: сироп $[\alpha]_D^{25}$ −8,7 ($c = 2$ в H_2O); −14 (в H_2O). Раств-сть: D и L р. H_2O. DL: в тв. состоянии обычно димер. Деполимеризуется в раств. $t_{пл}$ зависит от скорости нагрев. D и L: быстро полимеризуются. $[\alpha]_D$ меняется во времени от ±14 и до ±7 (через 1 нед); полн. активный материал можно регенерировать [JACS **61**, 761 (1939)]. Легко изомеризуется в дигидроксиацетон при обработке щел. Димедоновое производное: $t_{пл}$ 198; $[\alpha]_D^{25}$ ±210 ($c = 0{,}6$ в EtOH) (D – правовращающее производное). Получ. см. [Methods Carbohydr. Chem. **1**, 61 (1962)].
Глицерин (1,2,3-тригидроксипропан; пропантриол-1,2,3)	 *M* 92,1	Гигр. ромб. крист. или бесцв. вязк. жидк. d_4^{20} 1,261. $t_{пл}$ 20. $t_{зам}$ ~ 0. $t_{кип}$ 290 (разл.). Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH; 0,2 эф.; н. р. $CHCl_3$, бенз. См. обзор [Glycerol, eds. Milner and Dalton, A.C.S. Monograph Series No. 117, Reinhold (1953)].
цитидиндифосфатное производное (цитидин-5′-дифосфатглицерин; CDP-глицерин)	 CDP – цитидин-5′-дифосфатный остаток *M* 477,2	Лабилен в кисл. и щел. Гидрол. в 1 M HCl при 100°C за 30 мин дает цитидин-5′-фосфат и смесь *sn*-глицерин-3-фосфата и глицерин-2-фосфата. Действие конц. NH_3 при 100°C в течение 1 ч приводит к частичному гидрол. до цитидин-5′-фосфата и *sn*-глицерин-2,3-циклофосфата. Глицеринфосфатный остаток имеет *sn*-3-(или L-α-) конфигурацию. Выд. см. [BJ **64**, 599 (1956)]. Синт. см. [JCS **1958**, 3107; JACS **83**, 659 (1961)]. Ферм. получ. см. [BJ **110**, 565 (1968); JBC **239**, 3168 (1964)].
Глицериновая кислота (2,3-дигидроксипропионовая кислота)	 D-форма *M* 106,1	DL: сироп. D: сироп, левовращающая форма. pK_a 3,52. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH; х. р. ац.; н. р. эф. При длительном стоянии полимеризуется и образует ангидрид. Соли D-кислоты правовращающие и более раств. в H_2O, чем соли DL-кислоты.
соль Ca	$(C_3H_5O_4)_2Ca \cdot 2H_2O$ Гидрат: *M* 286,3	DL: призм. крист. $t_{пл}$ 137 ÷ 138. D: крист. $t_{пл}$ 142 ÷ 143. $[\alpha]_D^{20}$ +14,5 ($c = 5$ безводн. в H_2O). Раств-сть: DL $3{,}85^{20}$ (безводн.) H_2O; и. р. EtOH, эф.; L $9{,}32^{20}$ (безводн.) H_2O. Теряет H_2O при 130°C. $[\alpha]_D$ D- и L- кислот варьирует от +11,6 до ±15,5 (в H_2O). Получ. D и L см. [JACS **61**, 2607 (1939)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Глутаровая кислота (пентандиовая кислота)	$HOOC(CH_2)_3COOH$ *M* 132,1	Монокл. призмы или иглы. $t_{пл}$ 99. $t_{кип}$ 304 (разл.). pK_a 4,35; 5,40. Раств-сть: 64^{20} H_2O; х.р. EtOH, эф.; р. $CHCl_3$. Перекр. из бенз.
Гомогентизиновая кислота (2,5-дигидроксифенилуксусная кислота)	 *M* 168,2 Гидрат: *M* 186,2	Безводн. листочки из EtOH – $CHCl_3$: $t_{пл}$ 152 ÷ 154. Призмы + $1H_2O$ из H_2O. pK_a 4,40. Раств-сть: 85^{25} H_2O; р. EtOH, эф.; н.р. $CHCl_3$, бенз. Нейтр. или кисл. водн. раств. уст., быстро разл. под действием щел. Спектр: λ_{max} 290 нм, ε 3430 (в 0,03 М фосфате, pH 6,8). Окисл. до бензохинонуксусной кислоты (λ_{max} 250 нм, ε 10790). Легко образует лактон 2-оксо-5-гидроксикумаран: бел. крист.; $t_{пл}$ 188 ÷ ÷ 189; раств-сть: 0,075 H_2O; уст. на возд. и в кисл. или нейтр. води. раств., разл. щел.; спектр: λ_{max} 288 нм (в H_2O).
Диацетил (бутандион-2,3; диметилглиоксаль)	$CH_3COCOCH_3$ *M* 86,1	Зел.-желт. жидк. d_{15}^{15} 0,990. $t_{пл}$ – 2,4. $t_{кип}$ 88. Раств-сть: 25^{15} H_2O; ∞ EtOH, эф. Образует тримеры.
Дигидроксиацетон (1,3-дигидроксипропанон)	$HOCH_2COCH_2OH$ *M* 90, 1	Крист. (днмер), гигр. $t_{пл}$ ~ 80. Раств-сть: р. H_2O, гор. EtOH; о.п.р. хол. EtOH, эф. Быстро превращается в мономер в вод. раств. 2,4-Динитрофенилгидразон: $t_{пл}$ 277 ÷ 278 (разл.).
Изовалериановая кислота (3-метилбутановая кислота)	 *M* 102,1	Бесцв. жидк. d_4^{20} 0,930. $t_{пл}$ – 37,6. $t_{зам}$ ÷ 29,3. $t_{кип}$ 176,7. pK_a 4,78. Раств-сть: $4,2^{20}$ H_2O; ∞ EtOH, эф., $CHCl_3$. Соли более раств., чем соли *н*-валериановой кисл.
соль Na	$C_5H_9O_2Na$ *M* 124,1	Гигр. бесцв. крист. или бесформенная масса. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. Иногда называют валератом натрия.
соль Ca	$(C_5H_9O_2)_2Ca \cdot 3H_2O$ Гидрат: *M* 296, 4	Крист. порошок. Раств-сть (на безводн. соль): 26^0, $21,8^{20}$, $22,0^{40}$, $16,55^{100}$, H_2O. Крист. + H_2O из гор. водн. раств. Точка перехода 45,5 °C.
Изолимонная кислота (1-гидроксипропан-1,2,3-трикарбоновая кислота)	 *treo*-D_S(+) *M* 192,1	DL: призмы. $t_{пл}$ ~ 125. *treo*-D_S: $[\alpha]_D$ + 30,6 ($c = 1$ в H_2O). pK_a 3,29; 4,71; 6,40. Природное соединение – *treo*-D_S(+)-изомер; номенклатура см. [JBC **237**, 1739 (1962)]. $[\alpha]_D$ в раств. молибдата аммония см. [BJ **45**, 578 (1949)]. *treo*-D_S(+)-кислота дает левовращающий лактон: бесцв. иглы; $t_{пл}$ 156 ÷ 157; $[\alpha]_D$ – 60,4 ($c = 1$ в H_2O); уст. при хранении в сухом состоянии. Лактон используется для приготовления стандартных раств. изолимонной кисл.

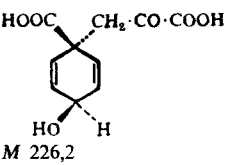
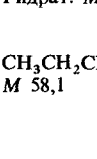
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
соль KH_2	$C_6H_5O_7KH_2$ *M* 230,2	*Treo*-D_8: иглы или призмы; разл. 179 ÷ 186. Раств-сть: 3,5^0, 50^{100} H_2O; 0,4 50%-ный EtOH. При кипячении 2%-ного водн. раств. 48% превращается в лактои, равновесие достигается через 3 ч. В тв. (и сухом) виде уст. при 115 °C. Быстро разл. при 179 ÷ ÷ 186 °C ($t_{разл}$ зависит от скорости нагрев.) с образованием гл. обр. лактона изолимонной кисл. Получ. см. [Biochem. Preps. **3**, 44, 50, 52 (1953); **7**, 72 (1960)].
Изомасляная кислота (2-метилпропановая кислота)	 *M* 88,1	Жидк. Едкий запах. d_4^{20} 0,950. $t_{пл}$ −47. $t_{кип}$ 154,3. pK_a 4,60. Раств-сть: 20^{20} H_2O; ∞ EtOH, эф. Неограниченно смешивается с H_2O > 24 °C. Соли более раств. в H_2O, чем соли *н*-масляной кисл.
соль Na	$C_4H_7O_2Na$ *M* 110,1	Крист. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH.
соль Ca	$(C_4H_7O_2)_2Ca \cdot 5H_2O$ Гидрат: *M* 304,4	Призмы + $5H_2O$. Раств-сть (на безводн. соль): 20,1^0, 23,1^{25}, 28,7^{62}, 27,0^{80}, 26,1^{100} H_2O. Раств-сть в H_2O достигает max при 62,5 °C. Кристаллизуется с 1 H_2O из гор. водн. раств. Точка перехода 62,5 °C.
Итаконовая кислота (метиленбутандиовая кислота; метиленянтарная кислота)	$HOOCC(=CH_2)CH_2COOH$ *M* 130,1	Гигр. бел. крист. $t_{пл}$ 175, pK_a 3,63; 5,00. Раств-сть: 8,3^{20} H_2O; 20^{15} 88%-ный EtOH; о. п. р. эф., бенз., $CHCl_3$.
Катехин (бенздиол-1,2; 1,2-дигидроксибензол; пирокатехин)	 *M* 110,1	Бесцв. листочки. $t_{пл}$ 105; $t_{кип}$ 240 ÷ 245. pK_a 9,34; ~ 13. Раств-сть: 45,1^{20} H_2O; х. р. EtOH; р. эф., бенз. Обесцвечивается на возд. и на свету. Восстанавливает жидк. Фелинга и аммиачный раств. $AgNO_3$. Спектр: при pH 3 λ_{max} 214 нм (ε 6300) и 275,5 нм (ε 2300); при pH 11 236,5 нм (ε 6800) и 292 нм (ε 3500).
Коричная кислота, *транс*-форма (*транс*-3-фенилпропеновая кислота)	$C_6H_5CH=CHCOOH$ *M* 148,2	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 135 ÷ 136. $t_{кип}$ 300. pK_a 4,44. Раств-сть: 0,1^{20}, 059^{98} H_2O; 23^{20}, EtOH; о. п. р. эф.; 5,9^{15} $CHCl_3$. Перегоняется с паром. Спектр: в EtOH λ_{max} 273 нм, ε 20000.
Кротоновая кислота, *транс*-форма (*транс*-2-бутеновая кислота)	$CH_3CH=CHCOOH$ *M* 86,1	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 71 ÷ 76. $t_{кип}$ 185. pK_a 4,70. Раств-сть: 7,6^{20} H_2O; х. р. EtOH, ац.; м. р. лигроин. Изокротоновая (*цис*-2-бутеновая) кислота: иглы; $t_{пл}$ 15,5; $t_{кип}$ 169; pK_a^{25} 4,42; р. H_2O; дает кротоновую кисл. в присутствии H_2O и на свету.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Лимонная кислота (2-гидроксипропан-1,2,3-трикарбоновая кислота)	 *M* 192,1 Гидрат: *M* 210,1	Безводн.: монокл. крист. $t_{пл}$ 153. Моногидрат: крист. + 1 H_2O. Размягчается 75. Плавится ~ 100. pK_a 3,13; 4,76; 6,40. Раств-сть (на безводн.): 146^{20}, 525^{100} H_2O; 62^{25} EtOH; $2,25^{15}$ эф. < 35,8 °C уст. моногидрат. Моногидрат теряет H_2O при 40–50 °C или при стоянии над конц. H_2SO_4 в эксикаторе или медл. при контакте с сухим возд.
соль NH_4	$C_6H_5O_7(NH_4)_3$ *M* 243,2	Распл. бел. крист. Раств-сть: х. р. хол. H_2O; н. р. EtOH, эф. Разл. в гор. H_2O.
соль Na	$C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$ Гидрат: *M* 294,1	Бел. крист. (или гранулы) или порошок. Раств-сть: 72^{25}, 167^{100} H_2O; н. р. EtOH. Теряет H_2O при 150 °C. Водн. раств. имеет слабощел. р-цию (pH ~ ~ 8). Образуется также пентагидрат.
соль K	$C_6H_5O_7K_3 \cdot H_2O$ Гидрат: *M* 324,4	Бел. крист. (или гранулы) или порошок. Раств-сть: 167^{15}, $199,7^{31}$ H_2O; о. п. р. EtOH. Теряет H_2O при 180 °C. Води. раств. имеет слабощел. р-цию (pH ~ 8,5).
Малеиновая кислота (*цис*-бутеидиовая кислота)	 *M* 116,1	Бел. призмы. $t_{пл}$ 139 ÷ 140. pK_a 1,97; 6.24. Раств-сть: $78,8^{25}$, $392^{97,5}$ H_2O; $69,9^{30}$ EtOH; 8^{25} эф.; р. ац.; о. п. р. бенз. Спектр: в H_2O λ_{max} 210 нм, ε 32000.
Малоновая кислота (пропандиовая кислота)	$HOOCCH_2COOH$ *M* 104,1	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 135 (разл.). pK_a 2,85; 5,70. Раств-сть: $61,1^0$, $73,5^{20}$, $92,6^{50}$ H_2O; 57^{20} EtOH; $5,7^{15}$ эф. 10^{-2} М растворы – мощный ингибитор некоторых ферментов, напр. сукцинатдегидрогеназы, фумараттидратазы, лактат- и малатдегидрогеназ.
н-Масляная кислота (бутановая кислота)	$CH_3CH_2CH_2COOH$ *M* 88,1	Бесцв. маслянистая жидк. d_4^{20} 0,959. Непрятный прогорклый запах. $t_{пл}$ – 4. $t_{зам}$ – 19. $t_{кип}$ 164. pK_a 4,82. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф. Перегоняется с паром.
соль Na	$C_4H_7O_2Na$ *M* 110,1	Крист. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH.
соль Ca	$(C_4H_7O_2)_2Ca \cdot H_2O$ Гидрат: *M* 232,3	Листочки или призмы. Раств-сть (на безводн. соль): $18,2^{20}$, $14,9^{75}$, $15,85^{100}$ H_2O. Раств-сть в H_2O достигает *min* при 75 °C.
Масляный альдегид (бутаналь)	$CH_3CH_2CH_2CHO$ *M* 72,1	Бесцв. жидк. d_4^{20} $0,817_4^{20}$. $t_{пл}$ – 99. $t_{кип}$ 75. Раств-сть: $7,1^{25}$ H_2O; ∞ EtOH; эф. 2,4-Динитрофенилгидразон: $t_{пл}$ 123; спектр: в $CHCl_3$ λ_{max} 358 нм, ε 21000 (нейтр. среда); λ_{max} 426 нм, ε 20400 (щел. среда).

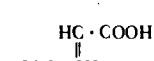
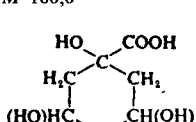
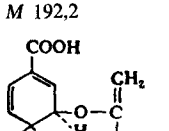
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Мевалоновая кислота (3,5-дигидрокси-3-метилпентановая кислота)	 *M* 148,2	Масло. pK_a 4,3. Раств-сть: х. р. H_2O; р. $CHCl_3$. Природный изомер –(+), его лактон левовращающий; (–)-изомер биол. неактивен. В биол. системах не различают кисл. и лактон. N,N′-Дибензилэтилендиаммониевая соль: крист.; $t_{пл}$ 124 ÷ 125. Лактон: гигр. крист.; $t_{пл}$ 28; х. р. H_2O, многие полярные орг. раств-ли; в кисл. раств. существует в равновесии с кисл., быстро гидрол. под действием NaOH до соли Na. Получ. см. [BJ **69**, 146 (1958); JACS **79**, 2316, 3294 (1957)]. См. обзор [Adv. Enzymol. **23**, 471 (1961)].
Метанол (метиловый спирт; древесный спирт; карбинол)	CH_3OH *M* 32,0	Гигр. бесцв. жидк. d_4^{20} 0,792. $t_{пл}$ – 93,9. $t_{кип}$ 64,7. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф., многие орг. раств-ли. Восплам. Яд.
Метилглиоксаль (2-оксопропаналь; пировиноградный альдегид)	CH_3COCHO *M* 72,1	Желт. жидк. Едкий запах. d^{24} 1,046. $t_{кип}$ 72. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф. При комн. т. жидк., димер, быстро полимеризуется в стеклообразную массу. Полимер раств. в H_2O, образуя мономер. При нагрев. до 50 °C полимер дает либо димер (жидк.) или мономер (газ).
Метилмалоновая кислота (2-метилпропандиовая кислота; изоянтарная кислота)	 *M* 118,1	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 135 (разл.). pK_a 3,05; 5,76. Раств-сть: 44,3°, 66²⁰ H_2O; х. р. EtOH, эф. Из H_2O крист. + H_2O. Дает пропионовую кисл. при нагрев. до 150 °C. Не ингибирует дыхание (в отличие от малоновой кисл.).
Молочная кислота (2-гидроксипропионовая кислота; DL–обычная молочная кислота; L(+)–мясомолочная кислота)	 D(–)  L(+) *M* 90,1	DL: гигр. крист. или сироп. d_4^{15} 1,249. $t_{пл}$ 28 ÷ 33 (18). $t_{кип}$ 122^{15}. D: гигр. пластинки. $t_{пл}$ 52 ÷ 54. $[\alpha]_D^{15}$ – 2,26 (c = 1,24 в H_2O). L: гигр. крист. $t_{пл}$ 53 ÷ 54. $[\alpha]_D^{15}$ + 2,67 (c = 2,51 в H_2O). pK_a 3,73. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф.; н. р. $CHCl_3$. Полимеризуется, особ. в конц. раств., образуя циклический димер (лактид) и линейные полимеры (лактоиллактат). Полимеры, особ. линейные, при разб. гидрол., но медл., даже при кипячении. L(+)-Молочная кислота образуется в животных тканях, особ. мышцах, и при брожении, вызываемом, напр., *Lactobacillus delbrueckii* и *Rhizopus oryzae*. D(–)-Молочная кислота образуется др. микроорганизмами, напр. *Lactobacillus leishmanii* и *E.coli*. В продажу поступает молочная кислота обычно в виде смеси изомеров, часто с преобладанием L(+)-изомера. $[\alpha]_D$ заметно зависит от концен-

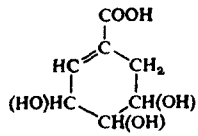
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		трации; в присутствии молибдата аммония меняется знак на обратный и растет по величине (для L-изомера от -60 до -90) [Biochem. Preps. **8,** 75 (1961)]. Соли D(−)-кислоты правовращающие, солн L(+)-кислоты левовращающие. Получ. D- и L-кислот и их солей см. [Biochem. Preps. **3,** 61 (1953); **8,** 75 (1961)]. См. обзор [Ann. N.Y. Acad. Sci, **119,** 851 (1965)].
соль Li	$CH_3CHOHCOOLi$ *M* 96,0 Гидрат: *M* 105,0	DL: безводн. негигр. бел. крист. D: пластинки + $^1/_2$ H_2O; $[\alpha]_D^{10}$ + 13,3 (c = 0,96 безводн. в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; о. п.р. EtOH. Лучший лактатный стандарт. Водн. раств. имеет р-цию, близкую к нейтр. Раств. в 0,1 М H_2SO_4 можно хранить неопределенно долго при 2–4 °C.
соль Na	$CH_3CHOHCOONa$ *M* 112,1	О. гигр. бесцв. или желт. жидк. d_4^{20} 1,38. $t_{пл}$ 17. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; н. р. эф. Водн. раств. имеет нейтр. р-цию. В продажу обычно поступает в виде конц. водн. раств., соотношения изомеров могут варьировать.
соль Zn	DL: $(CH_3CHOHCOO)_2Zn \cdot 3H_2O$ Тригидрат: *M* 297,5	DL: распл. бел. крист. + $3H_2O$. Раств-сть: 1,67^{15}, 16,7^{100} H_2O; о. п. р. EtOH. Оптически активные формы отделяют от рацемата путем перекр. при 35 °C. О. легко образует пересыщ. раств. [α] заметно уменьш. с увелич. конц.
	D и L: $(CH_3CHOHCOO)_2Zn \cdot 2H_2O$ Дигидрат: *M* 279,5	D: иглы + $2H_2O$. $[\alpha]_D^{15}$ + 8,0 (c = 2,5 безводн. в H_2O). L: иглы + $2H_2O$. $[\alpha]_D^{15}$ − 8,0 (c = 2,5 безводн. в H_2O). Раств-сть (на безводн.): D и L 5,0^{15}, 9,0^{33} H_2O; 0,1 гор. EtOH.
цис, цис-Муконовая кислота (*цис,цис*-2,4-гексадиендиовая кислота)	HOOCCH=CHCH=CHCOOH *M* 142,1	Крист. $t_{пл}$ 194 ÷ 195 (быстрое нагрев.). Раств-сть: р. гор. H_2O, гор. EtOH; м. р. хол. EtOH, эф. Свободная кисл. в H_2O быстро переходит в *цис,транс*-изомер при кипячении, но в EtOH или MeOH ни кипячение, ни действие щел. при комн. т. или кратковременное нагрев. до 100 °C, ни освещение (дневной свет) не вызывают такого превращения. Спектр: pH 7 λ_{max} 257 нм (ε 17300); в 0,1 М NaOH 251 нм (ε 23400), 259 нм (ε 25600), 265 нм (ε 23400). Получ. *цис,цис*- и др. изомеров см. [JCS **1950,** 2228, 2235].
Муравьиная кислота (метановая кислота)	HCOOH *M* 46,0	Бесцв. жидк. d_4^{20} 1,220. $t_{пл}$ 8,4. $t_{кип}$ 100,8. pK_a 3,74. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф.

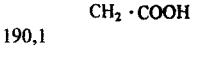
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
соль NH_4	$HCOONH_4$ *M* 63,1	Распл. крист. или гранулы. $t_{пл}$ 116. Раств-сть: 102^0, 531^{80} H_2O; р. EtOH, эф.
соль Na	HCOONa *M* 68,0	Распл. бел. крист. $t_{пл}$ 253. Раств-сть: 44^0, 97^{20}, 160^{100} H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф. Водн. раств. имеет нейтр. р-цию.
соль K	HCOOK *M* 84,1	Распл. бесцв. ромбы или гранулы. $t_{пл}$ 167. Раств-сть: 331^{18}, 657^{90} H_2O; р. EtOH; н. р. эф. Водн. раств. имеет нейтр. р-цию.
2-Оксоадипиновая кислота (α-кетоадипиновая кислота; 2-оксогександиовая кислота)	$HOOC(CH_2)_3COCOOH$ *M* 160,1	Св.-оранж. крист. $t_{пл}$ 127. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; м. р. эф. Получ. см. [JBC **176,** 1395 (1948); Вег. **88,** 316 (1955)].
3-Оксоадипиновая кислота (β-кетоадипиновая кислота; 3-оксогександиовая кислота)	$HOOC(CH_2)_2COCH_2COOH$ *M* 160,1	Пластинки. $t_{пл}$ 124 ÷ 125. Раств-сть: м. р. H_2O, EtOH, эф. Фиолетовое окрашивание с $FeCl_3$. Получ. см. [JCS **1950,** 2223].
2-Оксомасляная кислота (α-кетомасляная кислота; 2-оксобутановая кислота)	$CH_3CH_2COCOOH$ *M* 102,1	Гигр. пластинки. $t_{пл}$ 30 ÷ 32. $t_{кип}$ 85^{21}. pK_a 2,50. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; м. р. эф.
2-Оксоглутаровая кислота (α-кетоглутаровая кислота; 2-оксопентандиовая кислота)	$HOOC(CH_2)_2COCOOH$ *M* 146,1	Крист. $t_{пл}$ 113 ÷ 116. pK_a 2,47; 4,68. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; м. р. эф. 2,4-Динитрофенилгидразон: крист.; $t_{пл}$ 220; спектр: в 1,25 М NaOH λ_{max} 420 нм, ε 15400. Семикарбазон: спектр: λ_{max} 247–248 нм, ε 10000 в водн. раств.
2-Оксоизовалериановая кислота («кетовалин»; 3-метил-2-оксобутановая кислота)	 *M* 116,1	Крист. $t_{пл}$ 31. $t_{кип}$ 170. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф. Получ. см. [JBC **197,** 309 (1952); Chem. Rev. **41,** 585 (1947)].
2-Оксоизокапроновая кислота («кетолейцин»; 4-метил-2-оксопентановая кислота)	 *M* 130,1	Жидк. $t_{пл}$ −2. $t_{кип}$ $84 ÷ 85^{15}$. Медл. разл. при 0 °C. Соль Na (*M* 152,1): крист.; уст. при комнт. т. 2,4-Динитрофенилгидразон: $t_{пл}$ 162; спектр: в 1,25 М NaOH λ_{max} 435 нм, ε 17700. Получ. см. [Biochem. Preps. **3,** 66 (1953)].
2-Оксо-3-метилвалериановая кислота («кетоизолейцин»; 3-метил-2-оксопентановая кислота)	$CH_3CH_2CH(CH_3)COCOOH$ *M* 130,1	Крист. $t_{пл}$ 38 ÷ 40. $t_{кип}$ 73^{10}. pK_a 2,3. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф. Природное соединение – D-изомер. Соль Na (*M* 152,1): крист.; $[\alpha]_D^{26}$ + 32,6 (*c* = 1 в H_2O). Получ. см. [JBC **190,** 269 (1951); Chem. Rev. **41,** 585 (1947)].
Пимелиновая кислота (гептандиовая кислота)	$HOOC(CH_2)_5COOH$ *M* 160,2	Призмы. $t_{пл}$ 105 ÷ 106. $t_{кип}$ 212^{10}. pK_a 4,46; 5,58. Раств-сть: $2,5^{13}$, 5^{20} H_2O; х. р. EtOH, эф.; н. р. хол. бенз.
Пировиноградная кислота (2-оксопропионовая кислота)	$CH_3COCOOH$ *M* 88,1	Бесцв. жидк. d_4^{15} 1,267. $t_{пл}$ 13,6. $t_{кип}$ 165 (разл.); $70,8^{20}$. pK_a 2,39.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф. Уст. в очищенном виде при хранении без доступа возд., в противном случае полимеризуется и разл. В водн. раств. кисл. на 54–71% гидратирована (гемдиольная форма), но анион гидратирован только на 3–5%; енольная форма отсутствует. 2,4-Динитрофенилгидразон: $t_{пл}$ 216; спектр: в щел. раств. λ_{max} 445 нм, ε 20400. Семикарбазон: спектр: в водн. раств. λ_{max} 246 нм, ε 10200.
соль Li	$CH_3C(OH)_2COOLi$ *M* 112,0	Крист. Раств-сть: р. H_2O. В тв. состоянии в виде гемдиола.
соль Na	$CH_3COCOONa$ *M* 110,0	Пластинки. Раств-сть р. H_2O; о.п.р. EtOH.
Префеновая кислота (1-карбокси-4-гидроксициклогексадиен-2,5-пировиноградная-1 кислота)	 *M* 226,2	Раств-сть: р. H_2O. Разл. кисл. до фенилпировиноградной кисл. и CO_2; полн. разл. за 10 мин при 37 °C в 0,5 М HCl. Период полупревращения в 0,1 М HCl при 0 °C 1 ч, при pH 4 7 ч, при pH 6,8 заметных потерь не наблюдается. Более уст. к щел., но при нагрев. образует *n*-гидроксифенилмолочную кисл. Получ. см. [Meth. Enzymol. **17A**, 559, (1970)].
соль Ba	$C_{10}H_8O_6Ba \cdot H_2O$ Гидрат: *M* 379,5	Бел. крист. Раств-сть: р. H_2O; н.р. EtOH.
Пропионовая кислота (пропановая кислота)	CH_3CH_2COOH *M* 74,1	Бесцв. жидк. d_4^{20} 0,993. $t_{пл}$ −21. $t_{кип}$ 141. pK_a 4,87. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф., $CHCl_3$.
соль Na	CH_3CH_2COONa *M* 96,1	Бесцв. крист. или порошок. Раств-сть: 100^{25}, 150^{100} H_2O; 4 EtOH. Водн. раств. имеет нейтр. или слабощел. р-цию. Фунгицид.
соль K	$CH_3CH_2COOK \cdot H_2O$ Гидрат: *M* 130,2	Гигр. бел. крист. Раств-сть: 207^{16}, 360^{100} H_2O; 22^{13} 95%-ный EtOH. Теряет H_2O при 120 °C.
соль Ca	$(CH_3CH_2COO)_2Ca \cdot H_2O$ Гидрат: *M* 204,2	Бесцв. таблички. Раств-сть: 49^0, 56^{100} H_2O; н.р. EtOH. Раств-сть в H_2O достигает min при 55 °C.
Пропионовый альдегид (пропаналь)	CH_3CH_2CHO *M* 58,1	Бесцв. жидк. d_4^{20} 0,807. $t_{пл}$ −81. $t_{кип}$ 47,5 ÷ 49. Раств-сть: $30,6^{25}$ H_2O; ∞ EtOH, эф. 2,4-Динитрофенилгидразон: $t_{пл}$ 155; спектр: в $CHCl_3$ λ_{max} 356 нм, ε 22500 (нейтр. среда); λ_{max} 438 нм, ε 22500 (щел. среда).
Протокатеховая кислота (3,4-дигидроксибензойная кислота)	 *M* 154,1 Гидрат: *M* 172,1	Монокл. иглы + 1 H_2O. $t_{пл}$ 202 ÷ ÷ 204. pK_a 4,49; 8,83; 12,6. Раств-сть: $1,8^{14}$, 27^{80} H_2O; х.р. EtOH; р. эф. Окисл. на возд.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Тартроновый полуальдегид (2-гидрокси-3-оксопропановая кислота)	HOOCCHOHCHO *M* 104,1	Раств-сть: р. H_2O, EtOH. Описан метод качественного определения тартронового альдегида и его изомера, гидроксипирувата [Anal. Biochem. **4,** 159 (1962); BJ **78,** 69 (1961)]. Получ. см. [J.Biochem. (Tokyo) **47,** 741 (1960); BJ **81,** 273 (1961)].
Уксусная кислота (этановая кислота)	CH_3COOH *M* 60,1	Бесцв. жидк. d_4^{20} 1,049. $t_{пл}$ 16,6. $t_{кип}$ 118,2. pK_a 4,76. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф.; р. многие орг. раств-ли; о. п. р. CS_2. Лед. укс. кисл. вызывает ожоги на коже. 1 М раств. имеет pH 2,4, 0,1 М раств. pH 2,9. Уксусный аигидрид $(CH_3CO)_2O$: в H_2O период полупревращения при 0 °C 50 мин, при 25 °C 4,5 мин.
соль NH_4	CH_3COONH_4 *M* 77,1	Гигр. бел. крист. Раств-сть: 148^4 H_2O, разл. гор. H_2O; р. EtOH; м. р. ац. Может терять NH_3. Конц. водн. раств. имеет слабокисл. р-цию.
соль Na	CH_3COONa *M* 82,0	Гигр. белесый порошок. Раств-сть: 119^0, 170^{100} H_2O; 2,1 EtOH.
соль Na, гидрат	$CH_3COONa \cdot 3H_2O$ *M* 136,1	Легко выветр. бесцв. крист. Раств-сть: $76,2^0$, $138,5^{50}$ H_2O; 2,1 EtOH; р. эф., ац. Теряет кристаллизационную H_2O при 120 °C. Водн. раств. имеет щел. р-цию (pH 8,9 0,1 М раств.).
соль K	CH_3COOK *M* 98,1	Гигр. блестяще-бел. порошок. Раств-сть: 253^{20}, 492^{62} H_2O; 33 EtOH; н. р. эф. Водн. раств. имеет щел. р-цию (0,1 М раств. pH 9,7).
Феиол (карболовая кислота)	C_6H_5OH *M* 94,1	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 43. $t_{кип}$ 182. pK_a 10,00. Раств-сть: $6,7^{16}$, ∞^{66} H_2O; ∞ EtOH; х. р. эф.; р. $CHCl_3$. На возд. и под действием света темнеет, особ. в присутствии иоиов тяжелых металлов. Спектр: в H_2O λ_{max} 210,5 нм (ε 6200) и 270 нм (ε 1450). Феполят-анион: спектр: в H_2O λ_{max} 235 им (ε 9400) и 287 нм (ε 2600).
Фенилмолочная кислота (α-гидроксигидрокоричная кислота)	$C_6H_5CH_2CHOHCOOH$ *M* 166,2	L: иглы. $t_{пл}$ 124. $[\alpha]_D^{24}$ − 21,4 (*c* = 1 в H_2O). Раств-сть: р. гор. H_2O, EtOH, эф. Природное соединение – L-изомер.
Фенилпировиноградная кислота (α-оксогидрокоричная кислота)	$C_6H_5CH_2COCOOH$ *M* 164,2	Пластинки. $t_{пл}$ 157 (разл.). Раств-сть: о. п. р.^{100} H_2O; х. р. EtOH, эф. Разл. при хранении, особ. если не высушена. Окисл. на возд. Спектр: в 0,7 М NaOH λ_{max} 320 нм, ε 17500.
соль Na	$C_6H_5CH_2COCOONa \cdot H_2O$ Гидрат: *M* 204,2	Крист. Раств-сть: р. H_2O; н. р. EtOH. Уст. на возд. удерживает H_2O при 100 °C.
Фенилуксусная кислота (α-толуиловая кислота)	$C_6H_5CH_2COOH$ *M* 136,2	Бесцв. листочки. $t_{пл}$ 76 ÷ 77. $t_{кип}$ 266. pK_a 4,31. Раств-сть: $1,6^{20}$ H_2O; 186 EtOH; 151 $CHCl_3$; х. р. эф. В води. раств. образует комплекс со своей Na-солью.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Формальдегид (метаналь)	$HCHO$ *M* 30,0	Бесцв. газ. Едкий запах. $t_{пл}$ − 92. $t_{кип}$ − 21. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH, эф. Формалин – это 37–40%-ный (м./м.) водн. раств., обычно содержащий метанол (10–15%) в качестве стабилизатора. Разб. раств. уст. при 2 °C 1 нед. Димедоновое соединение: $t_{пл}$ 189. Бисульфитное производное HOH_2COSO_2Na: крист. + 1 H_2O; р. MeOH; м. р. EtOH; 2,4-Динитрофенилгидразон: спектр: в $CHCl_3$ λ_{max} 344 нм, ε 19000 (нейтр. среда); λ_{max} 430 нм, ε 15000 (щел. среда). Параформальдегид – это полимер формальдегида: крист. порошок; $t_{пл}$ 121 ÷ 122; раств-сть: 0,24 хол. H_2O, н. р. EtOH, эф., образует формальдегид при нагрев. или при раств. в гор. H_2O.
Фумаровая кислота (*транс*-бутендиовая кислота)	 *M* 116,1	Бесцв. иглы или призмы. Субл. 200 (открытый сосуд). $t_{пл}$ 300 ÷ 302 (запаянная трубка). pK_a 3,02; 4,38. Раств-сть: $0,7^{25}$, $9,8^{100}$ H_2O; $5,75^{30}$, $4,76^{76}$ EtOH; $0,72^{25}$ эф.; о. п. р. $CHCl_3$, ац.; н. р. бенз. Крист. Раств-сть: $22,8^{25}$ H_2O.
соль Na	$C_4H_2O_4Na_2$ *M* 160,0	
Хинная кислота (1,3,4,5-тетрагидроксициклогексанкарбоновая кислота)	 *M* 192,2	(−): крист. $t_{пл}$ 173 ÷ 174. $[\alpha]_D^{20}$ − 44,0 ($c = 12$ в H_2O). Раств-сть: 40^9 H_2O; р. EtOH; о. п. р. эф. Природный изомер левовращающий. Образует γ-лактон (хинид) при нагрев. до 200–250 °C.
Хоризмовая кислота	 *M* 226,2 Гидрат: *M* 244,2	Крист. + 1 H_2O. $t_{пл}$ 148 ÷ 149 (разл.) $[\alpha]_D$ − 295 ($c = 0,2$ в H_2O). Крист. удерживают раств. $pK_a \sim 3$. Раств-сть: х. р. H_2O; Et-ацетат, эф.; н. р. петр. эф. Изомер префеновой кисл. В тв. состоянии и в раств. медл. разл. до *п*-гидроксибензойной кисл. и префеновой кисл.; при интерпретации эксп. данных следует учитывать присутствие указанных соединений. Полн. разл. за 1 ч в раств. при 70 °C и pH 10. Хранить в тв. виде и в раств. при ⩽ − 15 °C. Спектр: в H_2O λ_{max} 275 нм, ε 2630. Получ. см. [Biochem. Preps. **12**, 94 (1968)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Шикимовая кислота (3,4,5-тригидроксициклогексеи-1-карбоновая кислота)	 *M* 174,2	(−): крист. $t_{пл}$ 190. $[\alpha]_D^{18}$ − 183,8 (c = 4 в H_2O). pK_a 4,21. Раств-сть: 18 H_2O; 2,25^{23} EtOH; 0,015^{28} эф.; и. р. $CHCl_3$, бенз. Природное соединение – левовращающий изомер. Спектр: в EtOH λ_{max} 213 нм, ε 8900. См. обзор [Chem. Rev. **65,** 435 (1965)].
Щавелевая кислота (этандиовая кислота)	HOOCCOOH *M* 90,0 Гидрат: *M* 126,1	Бесцв. крист. + 2 H_2O. Субл. 150. $t_{пл}$ безводн. 189. pK_a 1,25; 3,67 (4,25). Раств-сть: 9,5^{15}, 120^{90} H_2O; 23,7^{15} EtOH; 16,9 эф.; н. р. $CHCl_3$, бенз. Гидрат теряет H_2O при 100 °C. Образует хелатные комплексы с металлами. Конкурентно ингибирует лактатдегидрогеназу из сердца и сукцинатдегидрогеназу. Яд.
Щавелевоуксусная кислота (2-оксобутандиовая кислота)	$HOOCCOCH_2COOH$ кето-форма (оксо-форма) $HOOCC(OH)=CHCOOH$ енольная форма *M* 132,1	Енол: крист. $t_{пл}$ 152 ÷ 184 (разл.). pK_a 2,22; 3,89; 13,03 (енольная OH-гр.). Раств-сть: р. H_2O, EtOH; м. р. эф.; н. р. $CHCl_3$, бенз. Существует в трех формах: оксо-, гидратированной (гемдиольной) и енольной. Тв. в-во соответствует енольной форме. В-ва с $t_{пл}$ 152 и 184 были идентифицированы как *цис*- и *транс*-енолы (гидроксималеиновая и гидроксифумаровая кислоты); однако в наст. время считается вероятным, что все тв. формы представляют собой один и тот же изомер, правда, точно неизвестно *цис* или *транс* [JCS **1961,** 5043; ABB **153,** 226 (1972)]. В раств. при pH 6–10 дианион на 82–88% находится в оксо-форме, на 7–10% в енольной и 5–8% гидратированной форме; при pH 1,3 кислота существует на ~ 81% в гидратированной, на 13% в оксо- и 6% в енольной формах [J. Org. Chem. **41,** 3593 (1976)]. Поглощение при ~ 260 нм обусловлено присутствием енольной формы. В эфире, где ⩾ 90% щавелевоуксусной кисл. находится в енольной форме λ_{max} 260 нм, ε 8800. В водн. раств. λ_{max} 255 нм, ε_{260} 420 (для дикарбоновой кислоты), ε_{260} 850 и ε_{280} 540 (для дианиона при pH 6–10); влияние буферных растворов на ε см. [JCS 1961, 5043]. При образовании хелатных комплексов с ионами переходных металлов λ_{max} смещается в длинноволновую область, а ε возрастает в 2–3 раза. Декарбоксилируется, образуя пируват + CO_2, причем скорость декарбоксилирования уменьш. в ряду моноанион >

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		дианион > дикарбоновая кисл., скорость max при pH 3–4; декарбоксилирование ускоряется в присутствии многих двух- и трехзарядных ионов металлов; max скорость при pH 5–6,5.
Щавелевоянтарная кислота (1-оксопропан-1,2,3-трикарбоновая кислота)	 *M* 190,1	Раств-сть: р. H_2O. О. неуст. Быстро декарбоксилируется, особ. в кисл. раств.; декарбоксилирование ускоряется в присутствии ионов металлов. Кисл. уст. в нейтр. раств. при 0 °C несколько ч. Хранить в виде сухой Ba-соли при 0 °C. Получ. см. [JBC **174,** 115 (1948)].
Этанол (этиловый спирт)	CH_3CH_2OH *M* 46,1	Гигр. бесцв. жидк. d_4^{20} безводн. 0,789. $t_{пл}$ – 117,3. $t_{кип}$ 78,5; 8,1[21]. Раств-сть: ∞ H_2O, многие орг. раств-ли. Воспламеняется.
Этиленгликоль (этандиол-1,2; гликоль)	$HOCH_2CH_2OH$ *M* 62,1	О. гигр. сироп. d_4^{20} 1,115. $t_{пл}$ – 12. $t_{кип}$ 198. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, ац.; 7,9 эф.; м. р. $CHCl_3$. Осиовные сведения можно получить из работы [Glycols, eds. Curme and Johnson, A.C.S. Monograph Series No. 114, Reinhold, 1952].
Яблочная кислота (2-гидроксибутандиовая кислота; гидроксиянтарная кислота)	$HOOCCH(OH)CH_2COOH$ *M* 134,1	DL: бесцв. крист. $t_{пл}$ 131. L: бесцв. иглы. $t_{пл}$ 100. $[\alpha]_D^{20}$ – 2,3 (c = 9,17 в H_2O); – 5,7 (c = 3,73 в ац.). pK_a 3,46; 5,10. Раств-сть: DL: 144[26], 411[79] H_2O; 35,9[20] EtOH; 0,6[20] эф.; н. р. бенз. L: х.р. H_2O; 68,3[20] EtOH; 1,9[20] эф.; н.р. беиз. $[\alpha]_D$ в водн. раств. сильно зависит от конц. и темп. С увел. конц. $[\alpha]_D$ уменьш., и раств. L-яблочной кисл., содержащие > 34 г на 100 мл H_2O при 20 °C, стаиовятся правовращающими. $[\alpha]_D$ увел. в присутствии молибдата [BJ **37,** 334 (1943)].
Янтарная кислота (бутандиовая кислота)	$HOOCCH_2CH_2COOH$ *M* 118,1	Бесцв. призм. $t_{пл}$ 188. pK_a 4,21; 5,72. Раств-сть: 6,8[20], 121[100] H_2O; 7,5[21,5] EtOH; 0,3 эф.; р. MeOH, ац.; н. р. беиз., $CHCl_3$. При 235 °C разл., превращаясь частично в янтарный ангидрид.
соль Na	$C_4H_4O_4Na_2 \cdot 6H_2O$ Гидрат: *M* 270,1	Гранулы или крист. порошок. Раств-сть: 21,5[0], 86,6[75] H_2O; о. п. р. EtOH. Гидрат уст. на возд., при 120 °C теряет всю H_2O. Водн. раств. имеют нейтр. или слабощел. р-цию.
соль K	$C_4H_4O_4K_2 \cdot 3H_2O$ Гидрат: *M* 248,3	Гигр. бел. крист. порошок. Раств-сть: х.р. H_2O. Водн. раств. имеет р-цию, близкую к нейтр.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Янтарный полуальдегид (4-оксобутановая кислота; формилпропионовая кислота)	$HOOCCH_2CH_2CHO$ *M* 102,1	Вязкая бесцв. жидк. $t_{кип}$ 134 ÷ 136[14]. Раств-сть: р. H_2O. Способен полимеризоваться. При pH ≤ 6 и 2 °C раств. уст. > 3 мес. Получ. см. [Meth. Enzymol. **5**, 765 (1962)].

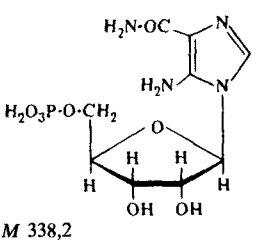
3. Эфиры фосфорной кислоты (кроме нуклеотидов и коферментов)

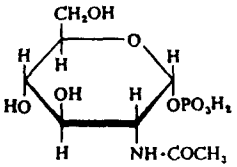
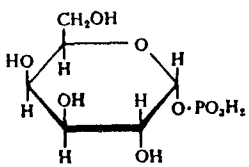
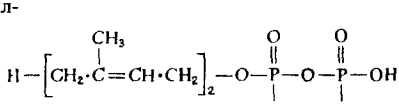
Номенклатура. Рекомендации по номенклатуре биологически важных фосфорсодержащих соединений приведены в работах [BJ **171**, 1, (1978); PNAS **74**, 2222 (1977)].

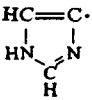
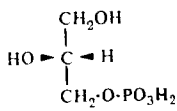
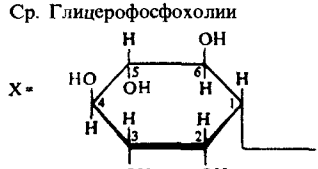
В этом разделе, если специально не оговорено, под гидролизом подразумевается освобождение фосфора в виде неорганического ортофосфата P_i. Количество освобождающегося фосфата указано в процентах от *общего* содержания фосфора в молекуле.

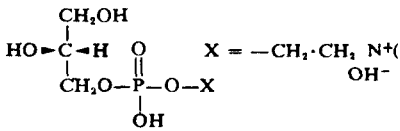
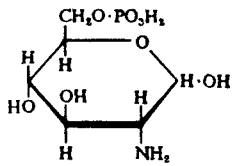
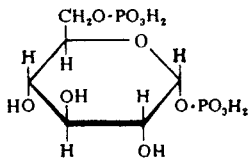
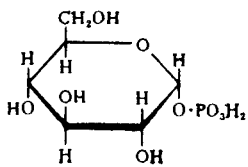
Сокращение: ЦГА – моноциклогексиламмоний.

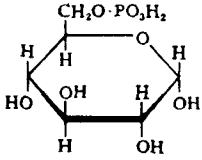
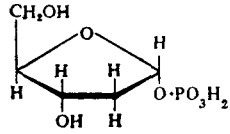
Гидраты. В этом разделе для большинства соединений рассмотрены наиболее распространенные и часто встречаемые кристаллогидратные формы, для которых и приведены данные по содержанию кристаллизационной воды. Эфиры фосфорной кислоты и их соли часто гигроскопичны, и содержание кристаллизационной воды в индивидуальных образцах может широко варьировать в зависимости от метода получения и условий хранения. Поэтому следует полагаться на информацию производителя коммерческих препаратов или еще лучше провести анализ интересующего препарата на содержание воды.

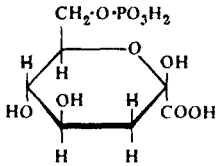
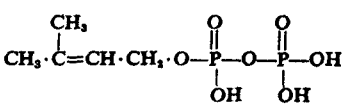
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
5-Аминоимидазол-4-карбоксамидрибонуклеотид (5-амино-1-β-D-рибозилимидазол-4-карбоксамид-5′-фосфат; рибонуклеотид 5-аминоимидазол-4-карбоксамида)	 *M* 338,2	Гликозидная связь более уст., чем у пуриновых нуклеотидов, напр. за 90 мин при 100 °C в 0,1 М H_2SO_4 гидрол. <5%. pK_a 6,3. λ_{max} 269 нм, ε 12600 (pH 7) и 9400 (pH 1). Свободная кисл. уст. в тв. состоянии при комн. т. Раств. медл. разл., приобретая розовую окраску. Получ. см. [JBC **228**, 201 (1957); Meth. Enzymol. **6**, 693 (1963); **51**, 189 (1978)].
2-Аминоэтилфосфат (О-фосфат 2-аминоэтанола; фосфоэтаноламин; этаноламиофосфорная кислота)	$H_2NCH_2CH_2OPO_3H_2$ *M* 141,1	$t_{пл}$ 244. pK_a 5,59; 10,20. Раств-сть: свободная кисл. 20^{20}, Na-соль 75^{20} в H_2O. О. уст. к кисл. и щел., за 5 ч при 100 °C в 1 М HCl гидрол. на 5%. Свободная кислота устойчива в твердом состоянии при комн. т. по крайней мере 12 мес.
β-L-Аспартилфосфат	$HOOCCH(NH_2)CH_2COOPO_3H_2$ *M* 213,1	Немного менее уст., чем ацетилфосфат. Очень неуст. при pH < 4,5 и >13. Получ. см. [JBC **213**, 27 (1955)].

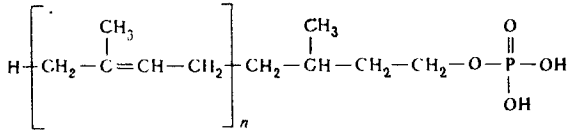
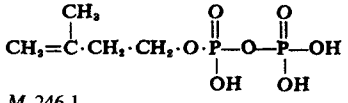
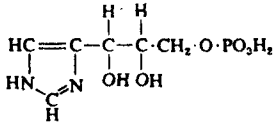
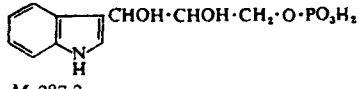
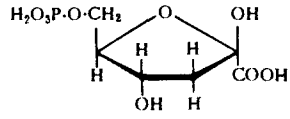
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
N-Ацетилглюкозамин-1-фосфат (2-ацетоамид-2-дезокси-D-глюкозо-1-фосфат)	 α-аномер *M* 301,2	pK_a < 1,4; 6,0 (в H_2O). Оба аномера полн. гидрол. за 10 мин в 0,1 М HCl при 100 °С. α-Аномер гидрол. на 50% за 180 мин при 37 °С в 0,5 М H_2SO_4; β-аномер гораздо более лабилен в кисл. В усл. определения фосфата по Фиске–Суббароу (0,67 М H_2SO_4 при 26 °С) β-аномер полн. гидрол. за 45 мин, а α-аномер за то же время гидрол. только на 5–6%. α-Аномер: K_2-соль + 1 H_2O; гигр. иглы; $[\alpha]_D$ + 79 (в H_2O); крист. Na_2-соль. β-Аномер: безводн. Na-соль $[\alpha]_D^{25}$ −1,7 (c = 2,9 в H_2O). Получ. см. [JACS **78**, 5303 (1956); JCS **1960**, 4678; BBA **86**, 628 (1964)].
N-Ацетилглюкозамин-6-фосфат (2-ацетоамид-2-дезокси-D-глюкозо-6-фосфат)	*См.* N-Ацетилглюкозамин-1-фосфат *M* 301,2	Гидр. на 60% за 3 мин при 100 °С в 0,2 М щел. $[\alpha]_D^{25}$ +29,5 (равновесное значение; c = 8 в 0,5 М Na-ацетате, коиечное pH 3,0). Получ. см. [BJ **84**, 185 (1962); JBC **230**, 497 (1958); JACS **78**, 1393 (1956); Anal. Biochem. **25**, 572 (1968)].
Ацетилфосфат	$CH_3COOPO_3H_2$ *M* 140,0	pK_a 1,2; 4,8. Быстро гидр. в кисл. и щел. раств.; 20%-ный гидрол. за 30 мин при pH 7 и комн. т., 45%-ный за 10 мии в 0,5 М HCl. Гидрол. в кисл. ускоряется молибдатом; ацетилфосфат ведет себя как P_i в методе Фиске–Суббароу. Крист. LiK-соль уст. при 4 °С. Раств. уст. < −30 °С. Получ. см. [J. Org. Chem. **40**, 2516 (1975)].
α-D-Галактозо-1-фосфат	 *M* 260,1	pK_a 1,00; 6,17. $[\alpha]_D^{32}$ + 100 (c = 1,57 K_2-соль α-аномера в H_2O). Гидрол. на 50% за 2,1 мин при 100 °С в 0,1 М HCl. K_2-соль: крист. +2 или 5 H_2O; р. H_2O. Ва-соль + 3 H_2O. Сухие соли уст. при комн. т. Нейтр. раств. уст. иесколько сут. β-Аномер характеризуется аналогичной кислотостабильностью; $[\alpha]_D$ + 31 (Ва-соль в H_2O). Получ. см. [JACS **72**, 4824 (1950); **79**, 5057 (1957); Biochem. Preps. **4**, 1 (1955); Meth. Carbohydr. Chem. **2**, 261 (1963)].
D-Галактозо-6-фосфат	*См.* Галактозо-1-фосфат *M* 260,1	$[\alpha]_D^{20}$ + 36,5 (c = 0,6 в H_2O); $[\alpha]_D^{25}$ + 24,5 (Ва-соль в H_2O). Ва- и Na_2-соли: уст. при комн. т.; р. H_2O.
Геранилдифосфат (*транс*-3,7-диметилоктадиен-2,6-ил-1-дифосфат; геранилпирофосфат)	 *M* 314,2	Уст. аналогична уст. фарнезилдифосфата; о. лабилен в кисл. раств.; довольно уст. в нейтр. и щел. раств. Имеет соли аммония (три-) и S-бензилизотиурония (ди-): крист. Получ. см. [Ann. **654**, 180 (1962); BJ **104**, 57 (1967); Meth. Enzymol. **15**; 359 (1969)].

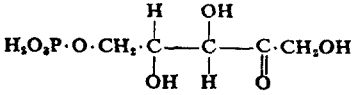
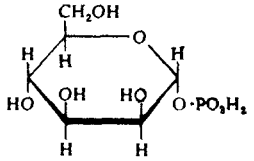
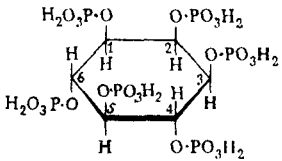
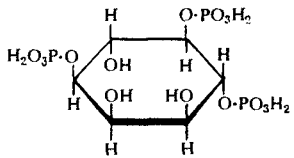
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
L-Гистидииолфосфат (β-амино-1H-имидазол-4-пропанолфосфат)	 *M* 221,2	Гидрол. на ~5% за 4 ч при 100 °C в 1 M NaOH или 1 M HCl. Гидрол. на ~20% за 4 ч при pH 4,5 и 100 °C. Получается в виде моногидрата. Получ. см. [JBC **212**, 687 (1955); JBC **220**, 113 (1956)].
D-Глицеральдегид-3-фосфат (фосфоглицеральдегид; 3-фосфат D-глицеринового альдегида)	$CHOCHOHCH_2OPO_3H_2$ *M* 170,1	pK_a 1,42; 6,45. $[\alpha]_D$ +14 ($c = 1$ в H_2O). Гидрол. на 50% за 8,1 мин при 100 °C в 1 M HCl. Неуст. в щел. раств. Кисл. раств., если заморожены, уст. несколько нед.; нейтр. раств. следует использовать как можно скорее после нейтрал. Ba- и $(ЦГА)_2$-соли диэтилацеталя: крист.; уст. при 4 °C ⩾ 12 мес; Ba-соль: умеренно р. H_2O; $(ЦГА)_2$-соль + 1 H_2O, р. H_2O. Глицеральдегид-3-фосфат регенерируется из ацеталя обработкой разб. HCl или дауэксом 50 (H^+) [Meth. Enzymol. **41**, 443, 447 (1975)]; в результате раствор содержит EtOH.
Глицерол-2-фосфат (β-глицерофосфорная кислота)	$CH_2OHCH(OPO_3H_2)CH_2OH$ *M* 172,1	О. медл. гидрол. при 100 °C в 1 M HCl. pK_1 1,34; pK_2 6,55. Использ. в качестве буфера и субстрата для определения активности фосфомоноэстераз. Р-ция сопровождается освобождением P_i. Na_2-соль: +5H_2O, р. H_2O. Может содержать небольшие к-ва *sn*-глицерол-3-фосфата.
sn-Глицерол-3-фосфат (α-глицерофосфориая кислота; D-глицерол-1-фосфат; L-глицерол-3-фосфат)	 *M* 172,1	Гидрол. иа 2% за 180 мин при 100 °C в 1 M HCl. Гидрол. при нагрев. (160 °C) в 10%-ной H_2SO_4. $[\alpha]_D$ −1,45 ($c = 10$ Ba-соль в 2 M HCl). pK_2 6,66. $(ЦГА)_2$-соль: крист. +2H_2O; р. H_2O; уст. при 4 °C.
1-(*sn*-Глицерофосфо)-L-*мио*-инозит (глицерофосфорил-инозит; 1-(α-глицерил-фосфорил)-L-миоинозит; глицероинозитфосфат)	Ср. Глицерофосфохолии  *M* 334,2	Продукт деацилирования фосфатидилиозита. Полн. разл. за 40 мии при 100 °C в 0,5 M KOH до глицерофосфата и иозитфосфата. $[\alpha]_D^{25}$ −18,7 ($c = 2$ свободной кисл. в воде). Крист. циклогексиламмониевая соль; $[\alpha]_D^{25}$ −13,5 ($c = 2$ в воде). Получ. см. [BJ **71**, 195 (1959); JACS **81**, 2591 (1959); JBC **236**, 1907 (1961); JCS **1959**, 3547 (DL-соединение)].
sn-Глицерофосфосерин (глицерофосфорилсерин)	Ср. Глицерофосфохолин $X = —CH_2 \cdot CHNH_2 \cdot COOH$ *M* 259,2	$[\alpha]_D^{24}$ +4,5 ($c = 10$ в 1 M HCl); −2,0 ($c = 10$ в H_2O). Крист. моногидрат. Получ. см. [JACS **81**, 2167 (1959); BJ **71**, 195 (1959)].

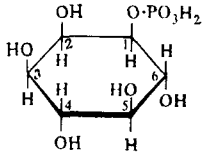
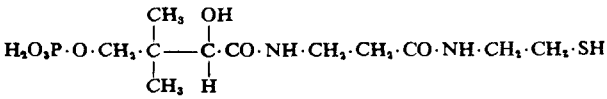
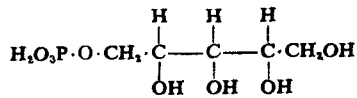
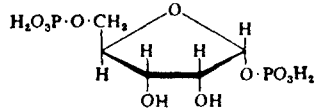
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
sn-Глицерофосфохолин (L-α-глицерофосфорилхолин; глицерохолинфосфат)	 *M* 275,2	Холин полн. освобождается за 15 мин при 100 °C в 1 М HCl. $t_{пл}$ 143; спекается при 141. $[\alpha]_D^{23}$ −2,85 (*c* = 2.2 синтетического в-ва в H_2O). Образует соединение с $CdCl_2$: о. гигр. крист. +3 H_2O; $t_{пл}$ 99. Получ. см. [Biochem. Preps. **6**, 16 (1958); **9**, 55 (1962)].
sn-Глицерофосфоэтаноламии (L-α-Глицерофосфорилэтаноламии)	*Ср.* глицерофосфохолин X = —$CH_2CH_2NH_2$ *M* 215,2	Этаноламин поли. освобождается за 15 мин при 100 °C в 1 М HCl. $t_{пл}$ 86 ÷ 87. $[\alpha]_D^{26}$ −2,9 (*c* = 7,6 синтетического в-ва в H_2O). Крист. моногидрат. Получ. см. [JACS **75**, 4510 (1953); BJ **50**, 449, (1952); Chem. Phys. Lipids **6**, 31 (1971)].
D-Глюкозамин-6-фосфат (2-амино-2-дезокси-D-глюкозо-6-фосфат)	 *M* 259,2	Гидрол. < 1% за 20 мин при 100°C в 1 М HCl. Разл. 160 ÷ 167. $[\alpha]_D^{25}$ + 56,0, меняется до равновесного значения +58,8 (*c* = 5 в H_2O). Раств-сть: легко р. H_2O; н. р. метанол, ац., эф. Неуст. > pH7. pK_2 6,08; pK_3 8,10. Крист. свободная кисл. более уст., чем Na-соль.
Глюкозо-1,6-дифосфат (глюкозо-1,6-бисфосфат)	 α-аномер *M* 340,1	α-Аномер – кофермент фосфоглюкомутазы. 1-Фосфатная гр. медл. гидрол. в 0,5 М H_2SO_4 при 30 °C; α-аномер: гидрол. 9% 1-фосфата за 120 мин, 50% за 880 мин; β-аномер: гидролиз. 50% 1-фосфата за 220 мин (6-фосфат не затрагивается в этих усл.). α-Аномер: $[\alpha]_D^{25}$ +83 (*c* = 0,6 Na-соли при pH 8); Li_4-соль крист.; $(ЦГА)_4$-соль: крист. +4 H_2O; довольно уст. при комн. т.; р. H_2O. β-Аномер: $[\alpha]_D^{26}$ −19 (*c* = 0,37 Na-соли при pH 8). Получ. см. [JBC **180**, 1269 (1949); Meth. Enzymol. **3**, 143 (1957); **41**, 79 (1975); JBC **245**, 4031 (1970)].
α-D-Глюкозо-1-фосфат (эфир Кори)	 *M* 260,1	pK_a 1,11; 6,13. α-Аномер: $[\alpha]_D^{25}$ +120 (*c* = 1 свободной кисл. в H_2O); +78 (*c* = 4 K_2-соли в H_2O). 100%-ный гидрол. в 0,5 М H_2SO_4 при 100 °C за 10 мин; при 33 °C период полупревращения 60 мин. Уст. при pH 8 даже при 100 °C. Довольно уст. в более сильнощел. раств. Крист. K_2-соль + 2 H_2O и Na_2-соль + 4 H_2O в тв. виде уст. при комн. т., р. H_2O. Может содержать небольшие количества глю-

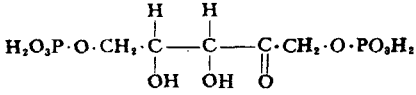
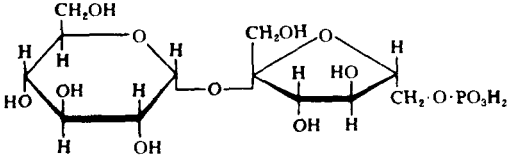
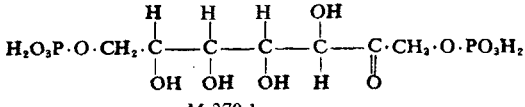
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		козо-1,6-дифосфата; оч. см. [JBC **241**, 3930 (1966)]. β-Аномер: $[\alpha]_D^{24}$ +9 ($c = 2$ в H_2O). Более кислотолабилен, чем α-аномер; период полупревращения при 33 °C в 0,5 М H_2SO_4 20 мин. $(ЦГА)_2$-соль: крист. Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **2**, 261 (1963); **6**, 389 (1972)].
D-Глюкозо-6-фосфат (эфир Робисона)	 α-аномер M 260,1	pK_a 0,94; 6,11. $[\alpha]_D^{24}$ +21,2 ($c = 1,3$ K_2-соли в H_2O). Более уст. в кисл., чем в щел.; 50%-ный гидролиз за 1400 мин при 100 °C в 1 М HCl, 60%-ный гидролиз за 3 мин при 100 °C в 0,2 М NaOH. Свободная кисл., Na_2-, K_2- и Ba-соли – все гигр., содержаиие кристаллизационной H_2O широко варьирует; уст. при комн. т., если высушены. Ba-соль умеренно р. H_2O; Na_2- и K_2-соли х. р. H_2O. Моно-Na-соль β-аномера негигр. и более уст. к атм. влаге, чем др. соли. При раств. в H_2O сразу образуется равновесная смесь, содержащая 38% α-аномера и 62% β-аномера. Глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа специфична к β-аномеру.
L-Гомосеринфосфат (О-фосфогомосерин)	$H_2O_3POCH_2CH_2CHNH_2COOH$ M 199,1	$[\alpha]_D^{22}$ +6,2 ($c = 2,4$ в H_2O). Гидрол. на 12,5% за 1 ч при 100 °C в 6 М HCl; на 100% за 30 ч при 105 °C в 6 М HCl. Выд. в виде Ba-соли, возможная формула $C_4H_8NO_6PBa \cdot H_2O$. Получ. см. [JBC **248**, 1032 (1973); J. Org. Chem. **38**, 1421 (1973); Helv. Chim. Acta **58**, 518 (1975)].
2-Дезоксирибозо-1-фосфат (2-дезокси-D-*эритро*-пентозо-1-фосфат)	 α-аномер M 214,1	Гидрол. на 50% за 10–15 мин при 23 °C и pH 4. α-Аномер: $[\alpha]_D$ +38,8 (в H_2O); β-аномер: $[\alpha]_D$ −15,8 (в H_2O). Обычно получается в виде α-аномера крист. ЦГА-соли. Получ. см. [JBC **184**, 449 (1950); Meth. Enzymol. **3**, 183 (1957); JACS **82**, 1832 (1960); **84**, 1262 (1962)].
2-Дезоксирибозо-5-фосфат (2-дезокси-D-*эритро*-пентозо-5-фосфат)	*Ср.* Дезоксирибозо-1-фосфат M 214,1	$[\alpha]_D$ +19 (свободная кисл. в H_2O); +16,5 (Ba-соль в H_2O). В 1 М HCl гидрол. на 45% за 7 мин при 100 °C, полиый гидрол. за 30 мин. Крист. Na_2-соль. Ba-соль +2 H_2O; х. р. H_2O; уст. при комн. т.; ЦГА-соль диметилацеталя: иглы; $t_{пл}$ 145 ÷ 150. Получ. см. [JBC **215**, 389 (1955); JACS **81**, 3719 (1959); Biochem. Preps. **9**, 35 (1962); Meth. Carbohydr. Chem. **2**, 277 (1963); JCS **1964**, 5139].

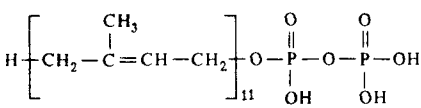
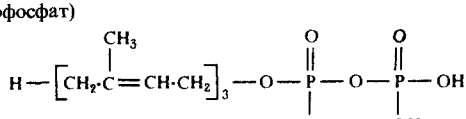
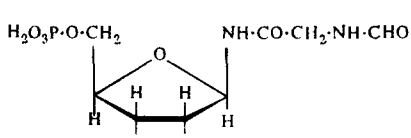
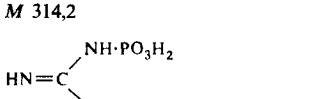
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
3-Дезокси-7-фосфо-D-арабиногептулозоновая кислота (2-кето-3-дезокси-7-фосфогептоновая кислота; 3-дезокси-2-кето-7-фосфо-D-арабиногептулозоновая кислота)	 *M* 288,1	$[\alpha]_D$ +18 (c = 0,5 Ca-соли в H_2O); +42 (c = 1,47 свободной кисл. в H_2O). $Ca_{1,5}$-соль: крист.; безводн., $Ba_{1,5}$-соль: меняет степень гидратации (2 ÷ 4 H_2O). Получ. см. [JBC **238**, 3170 (1963); JCS Perkin I **1975**, 600; Meth. Enzymol. **41**, 97 (1975)].
Дигидроксиацетонфосфат (1,3-дигидроксипропанонфосфат; 1-гидрокси-3-(фосфоноокси)пропанон-2; глицеронфосфат)	$HOCH_2COCH_2OPO_3H_2$ *M* 170,1	pK_a 1,77; 6,45. Неуст. в щел., полн. гидрол. за 20 мин в 1 М щел. при комн. т.; 50%-ный гидрол. за 8 мин при 100 °C в 1 М HCl. Обычно получают в виде (ЦГА)$_2$-соли диметилкеталя: крист. + 1 H_2O; уст. ⩾12 мес при 4 °C, превращается в свободную кисл. обработкой дауэксом 50 (H^+) [JACS **78**, 1659 (1956); Meth. Enzymol. **41**, 442 (1975)] (раств. содержит MeOH (2 моля/моль), уст. несколько сут. при pH 4,5 в замороженном состоянии, но лучше использовать сразу после приготовления). Получ. см. [Biochem. Preps. **7**, 45 (1960); JACS **78**, 1659 (1956); Meth. Carbohydr. Chem. **2**, 282 (1963)].
Диметилаллилдифосфат (3-метилбутен-2-ил-1-дифосфат; диметилаллилпирофосфат)	 *M* 246,1	Уст., как фариезилдифосфат; уст. к щел., неуст. при pH <5,2. При pH 2 наблюдается мгновенное освобождение всего P в виде пирофосфата. Получ. [BJ **104**, 57 (1967); Meth. Enzymol. **15**, 359 (1969)].
1,3-Дифосфоглицериновая кислота (D-глицериновая кислота-1,3-дифосфат; (D-глицероилфосфат)-3-фосфат)	$CH_2(OPO_3H_2)CH(OH)COOPO_3H_2$ *M* 266,0	Гидрол. на 50% за 27 мин при 38 °C и pH 7,2. Обычно чрезвычайно неуст., разл. до глицериновой кисл. и 3-фосфата. Раств. можно хранить при ⩽ −20 °C. pK_1 7,5; pK_2 8,0. Получ. см. [Meth. Enzymol. **3**, 216 (1957)].
2,3-Дифосфоглицериновая кислота (D-глицериновая кислота-2,3-дифосфат; 2,3-бис(фосфо)-D-глицерат)	$CH_2(OPO_3H_2)CH(OPO_3H_2)COOH$ *M* 266,0	Чрезвычайно уст. к гидрол. Кофермент фосфоглицеромутазы. (ЦГА)$_5$-соль: крист. + 4 H_2O; в тв. виде уст. при комн. т.; р. H_2O.
5-Дифосфомевалоновая кислота (дифосфомевалоновая кислота; пирофосфомевалоновая кислота)	*Ср.* 5-Фосфомевалоновая кислота *M* 308,1	За 10 мин в 1 М HCl при 100 °C полн. гидрол. до 5-фосфомевалоновой кисл. и P_i. Кисл. раств. неуст. даже при pH 6 и в замораживании виде. 50%-ный гидролиз до 5-фосфомевалоновой кислоты и P_i может происходить за 3 мес. Щел. раств. портятся гораздо медл., гидрол. на 3–5% за 6 мес. Не разл. при 100 °C в 1 М KOH в течение 10 мин. Можно хранить в виде сухой Ba-соли. Получ. см. [Meth. Enzymol. **6**, 505 (1963); **15**, 417 (1969)].

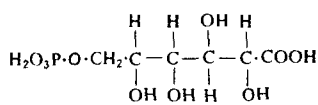
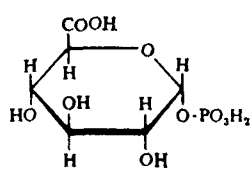
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Долихолфосфат	 $n = 13 \div 21$ (в зависимости от источника) при $n = 19$: M 1462,4	Эфиры фосфорной кисл. семейства полипренолов, содержащих $14 \div 22$ изопреновых ед. ($n = 13 \div 21$). Основные долихолфосфаты из тканей позвоночных содержат $18 \div 20$ изопреновых ед., из дрожжей $15 \div 16$ изопреновых ед. Уст. к мягкой кисл. обработке, напр., pH 1, 100 °C уст. в течение 30 мин, и к мягким щел. усл., напр. при pH 13, 37 °C в течение 15 мин. Получ. см. [JBC **249**, 6316 (1974); Meth. Enzymol. **50**, 122, 402 (1977)].
Изопентенилдифосфат (изопентенилпирофосфат; 3-метилбутен-3-ил-1-пирофосфат)	 M 246,1	Лабилен в 1 М HCl при 100 °C в течение 10 мин, при этом освобождается P_i. Крист. Li_3- и $(ЦГА)_3$-соли. Получ. [BJ **105**, 544 (1967); Meth. Enzymol. **15**, 359, 450 (1969); JBC **234**, 2605 (1959); **235**, 326 (1960)].
D-*эритро*-Имидазолглицерофосфат	 M 238,1	Гидрол. в 6 М HCl при 100 °C за 12 ч. Моногидрат уст. $[\alpha]_D^{20}$ −12,1 ($c = 2{,}37$ в H_2O, pH 7). Получ. см. [JBC **228**, 131 (1957); Meth. Enzymol. **17B**, 15 (1971)].
Индол-3-глицерофосфат	 M 287,2	Не гидрол. в 1 М щел. при комн. т. При нагрев. с разб. щел. освобождается индол; лабилен в разб. кисл. при комн. т. Крист. Ba-соль + 2 H_2O и $(ЦГА)_2$-соль. Получ. см. [JBC **223**, 171 (1956)].
Карбамоилфосфат (карбамилфосфат)	$H_2NCOOPO_3H_2$ M 141,0	Li_2-соль гидрол. на 100% за 2 мин в H_2O при 100 °C, за 10 мин в 0,1 М щел. при комн. т. Гидрол. на 50% за 2 ч в H_2O при 30 °C; pH $1,5 \div 9$ мало влияет на гидролиз. Безводн. соли уст. иад осушителем на хол. несколько нед., но при более длительном хранении разл. Раств. Li_2-соли уст. в замороженном состоянии. $(NH_4)_2$- и Na_2-соли: крист. из 32%-ного этанола при −23 °C. Получ. см. [Biochem. Preps. **7**, 23 (1960); Meth. Enzymol. **3**, 653 (1957)].
2-Кето-3-дезокси-6-фосфоглюконовая кислота (3-дезокси-6-фосфо-2-D-*эритро*-гексулозоновая кислота; 2-оксо-3-дезокси-6-фосфоглюконовая кислота)	 M 258,1	Гидрол. на 62% за 60 мин в 1 М HCl при 100 °C. $pK_1 < 2{,}5$; pK_2 3,12; pK_3 6,4. $[\alpha]_D^{22}$ +6,5 (Li-соль в H_2O). Li_3-соль: крист. $+2H_2O$. Получ. см. [Meth. Enzymol. **9**, 51 (1966); **41**, 97 (1975)].

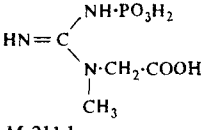
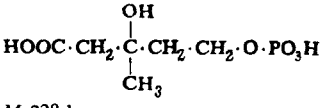
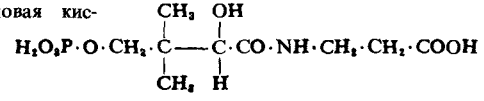
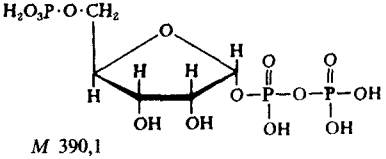
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
D-Ксилулозо-5-фосфат (D-*treo*-пентулозо-5-фосфат)	 *M* 230,1	Гидрол. на 55% за 10 мин в 0,5 М H_2SO_4 при 100 °С. Получают в виде Na- или Ba-солей (преп. содержат 70% основн. в-ва). Получ. см. [Meth. Enzymol. **9**, 41 (1966)].
α-D-Маннозо-1-фосфат (α-D-маннозилфосфат)	 α-аномер *M* 260,1	Гидрол. на 50% за 360 мин в 0,95 М кисл. при 30 °С. K_2-соль: крист. $+4\ H_2O$; р. H_2O; уст. при комн. т. $\geqslant 1$ г. $(ЦГА)_2$-соль: крист. $+2H_2O$; $[\alpha]_D$ +28,7 ($c = 2$ в H_2O). Ba-соль: крист. $+2H_2O$; $[\alpha]_D^{20}$ +34 ($c = 2{,}2$ в H_2O); уст. Получ. см. [Biochem. **12**, 5031 (1971); Helv. Chim. Acta **36**, 1614 (1953)].
Маннозо-6-фосфат	*Ср.* Маннозо-1-фосфат *M* 260,1	$[\alpha]_D^{22}$ +13,3 ($c = 1{,}66$ свободной кисл. в 0,1 М HCl). Гидрол. на 50% за 1000 мин в 1 М HCl при 100 °С. Ba-соль крист. $+3H_2O$; уст. 12 мес при комн. т.
Миоинозитгексафосфат (фитиновая кислота; миоинозитгексакисфосфорная кислота)	 *M* 660,0	Гидрол. на 9,5% за 6 ч в 0,5 М H_2SO_4 при 100 °С.
L-Миоинозит-1,4,5-трифосфат (инозиттрифосфат)	 *M* 420,1	$[\alpha]_D^{25}$ −27,4 (ЦГА-соль в щел. раств.); р. H_2O. Раств. К-соли при pH 7,2 уст. в замороженном состоянии при −20 °С. Инозиттрифосфат освобождается из мембранного фосфатидилинозитдифосфата под действием специфической фосфодиэстеразы, когда стимулируются Ca-мобилизующие рецепторы. Он мобилизует Ca^{2+} из немитохондриальных внутриклеточных источников. Может также освобождаться 1,3,4-трифосфат, но он не активен в мобилизации Ca^{2+} [BJ **223**, 237 (1984)]. Получ. см. [BJ **203**, 169 (1982); **222**, 269 (1984)]. См. обзор [Nature (London) **312**, 315 (1984)].

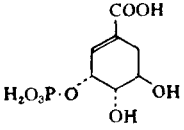
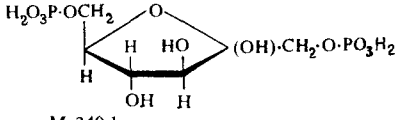
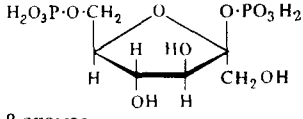
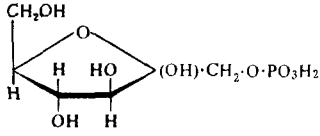
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
L-Миоинозит-1-фосфат (1-D-*мио*-инозит-1-фосфат)	 *M* 260,1	L-Изомер (более правильно 1-D-изомер) – продукт фосфодиэстеразного гидролиза фосфатидилинозита. D-Изомер (1-L-изомер) – продукт действия фермента глюкозо-6-фосфат-*мио*-инозит-1-фосфатциклазы. Фосфатная гр. мигрирует в гор. разб. кислоте, давая смесь 1- и 2-фосфатов. $(ЦГА)_2$-соль L-изомера: $t_{пл}$ 200 ÷ 210 (разл.); $[\alpha]_D^{25}$ +3,4 (c = 3 в H_2O, pH 9); −9,8 (свободная кисл. в H_2O, pH 2). Получ. см. [JACS **81**, 915 (1959); Biochem. Preps. **9**, 99 (1962); Ж. общ. химии **40**, 2469 (1970) (1-D-изомер); Tetrahedron **25**, 5681 (1969) (1-L-изомер)].
Миоинозит-2-фосфат	*Ср.* Миоинозитгексафосфат *M* 260,1	Монофосфат – продукт гидролиза гексафосфата фитазой. $t_{пл}$ 195 ÷ 197 (разл.). Оптически неактивен. Уст. к нагрев. в сильн. щел. Фосфатная гр. мигрирует в гор. разб. кислоте, образуется смесь 1- и 2-фосфатов. ЦГА- и $(ЦГА)_2$-соли: крист. $+4H_2O$; $t_{пл}$ 211 ÷ 213 и 203–205. Получ. см. [Biochem. Preps. **2**, 65 (1952)]. О ди- и трифосфатах инозита см. [JBC **236**, 1902 (1961); J. Lipid Res. **1**, 255 (1960); Adv. Carbohydr. Chem. **14**, 135 (1959)]. О пентафосфатах см. [BJ **89**, 172 (1963)].
D(+)-Пантетеин-4′-фосфат (фосфопантетеин; 4-фосфопантетеин)	 *M* 358,3	Получают в виде Ba-соли ($[\alpha]_D^{18}$ +10,8 (c = 4,2 в H_2O)) или Li-соли. Получ. см. [Meth. Enzymol. **62**, 236 (1979)].
D-Рибитол-5-фосфат (L-рибитол-1-фосфат)	 *M* 232,1	Получ. см. [JCS **1956**, 4583; JBC **233**, 1049 (1958)].
Рибозо-1,5-дифосфат (α-D-рибофуранозо-1,5-дифосфат)	 *M* 310,1	Гидрол. на 50% за 5 мин в усл. метода Фиске–Суббароу. Кофермент фосфорибомутазы. $(ЦГА)_4$-соль: крист.; $t_{пл}$ 171–172 (разл.); $[\alpha]_D^{22}$ +20,8 (c = = 0,43 в H_2O). Получ. см. [JBC **245**, 4031 (1970)].
α-D-Рибозо-1-фосфат (α-D-рибофуранозо-1-фосфат; α-D-рибозилфосфат)	*Ср.* Рибозо-1,5-дифосфат *M* 230,1	α-Аномер: быстро гидрол. в сильн. кисл., на 50% за 3,5 ч в 0,01 М HCl при 20 °C и за 2,5 мин в 0,5 М кисл. при 25 °C. Ведет себя как P_i при определе-

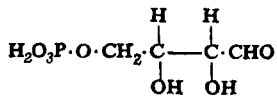
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		нии фосфата по методу Фиске–Суббароу, при этом гидрол. завершается за 2,5 мин. (ЦГА)$_2$-соль: крист. $+1H_2O$; в тв. виде уст. при комн.т.; р. H_2O; $[\alpha]_D^{20}$ +40,3 (c = 2,37 в H_2O). β-Аномер: более уст. к кисл., чем α; гидролиз. на 50% за 240 мин в 0,1 М кисл. при 26 °С; $[\alpha]_D$ −13,6 (ЦГА-соль в H_2O). Получ. см. [JBC **167**, 477 (1947); **193**, 497 (1951); JACS **79**, 441 (1957); **78**, 811 (1956)].
D-Рибозо-5-фосфат	*Ср.* Рибозо-1,5-дифосфат *M* 230,1	Отн. медл. гидрол. кисл., 59% гидрол. за 2 ч в 1 М HCl при 100 °С; 50%-ный гидролиз при 100 °С ~17 ч в 0,01 М кисл. и 10 ч в 0,25 М кисл. $[\alpha]_D^{20}$ +22,8 (в 0,02 М HCl); +16,5 (c = 3,35 Ba-соли в 0,23 М HCl). Ba-соль: крист. $+6H_2O$; уст. при комн.т.; р. H_2O. Na-соль: аморф.; гигр.; уст. при 4 °С в сухом состоянии.
D-Рибулозо-1,5-дифосфат (рибулозо-1,5-дифосфат)	 *M* 310,1	1-Фосфатная гр. полн. гидрол. за 20 мин при 100 °С в 0,5 М H_2SO_4, на 50% за 12 мин при 100 °С в 0,1 М кисл. Нейтр. раств. в замороженном состоянии уст. несколько нед. Na_4-соль: гигр., р. H_2O. Ba_2-соль: при хранении в сухом состоянии при 4 °С теряется 20–50% в год. Получ. см. [Biochem. Preps. **6**, 83 (1958); BJ **175**, 909 (1978)]. Оч. см. [BJ **159**, 563 (1976)].
D-Рибулозо-5-фосфат (D-*эритро*-пентулозо-5-фосфат)	*Ср.* Рибулозо-1,5-дифосфат *M* 230,1	Гидрол. на 50% за 40 мин в 0,5 М H_2SO_4 при 100°С. $[\alpha]_D^{20}$ −40. Ba-соль: преп. содержит 90% основного в-ва. Получ. см. [Meth. Enzymol. **9**, 41, 46 (1966); JBC **237**, 643 (1962)].
Сахарозо-6′-фосфат	 *M* 422,3	Гидрол. на 25% за 60 мин в 0,5 М H_2SO_4 при 100 °С. Уст. в гор. щел. В 0,9 М HCl при 37°С увел. восстановительных свойств происходит медл., чем у сахарозы. Выделяется в виде Ca-соли. Ba-соль: $[\alpha]_D$ +35,4 (в H_2O). Получ. см. [Meth. Enzymol. **42**, 341 (1975); Carbohydr. Res. **21**, 283 (1972)].
D-Седогептулозо-1,7-дифосфат	 *M* 370,1	Гидрол. на 50% за 30 мин в 0,5 М H_2SO_4 при 100 °С, на 70% за 3 ч. Na-соль: крист. Получ. см. [JBC **218**, 745 (1956); Meth. Enzymol. **41**, 77 (1975)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
D-Седогептулозо-7-фосфат	*Ср.* Седогептулозо-1,7-дифосфат *M* 290,2	Гидрол. на 10–15% за 1 ч в 0,5 М H_2SO_4 при 100 °С. Ва-соль: крист. $[\alpha]_D$ +5 (в H_2O). Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **6**, 398 (1972); Biochem. Preps. **12**, 1 (1968)].
Сериифосфат (О-фосфосерин)	$H_2O_3POCH_2CH(NH_2)COOH$ *M* 185,1	Гидрол. на 61% за 24 ч в 1 М HCl при 100 °С, на 51% в 0,5 М NaOH. Крист.: $t_{пл}$ 165 ÷ 166 (разл.). pK_a 2,65; 5,91; 9,99. Раст-сть: $2,8^{20}$ (свободная кисл.), 25^{20} (Na-соль) H_2O; Са- и Ва-соли умеренно р. H_2O.
Ундекапренилдифосфат (ундекапренолпирофосфат; C_{55}-полипренолпирофосфат)	 *M* 927,3	Мягкие кисл. усл. (напр., pH 2, 100 °С 1 мин) вызывают полный гидрол. пренол-фосфатиой связи с освобождением неорганического пирофосфата. Уст. в нейтр. и слабощел. усл., напр. pH 13, 37 °С, 15 мин. Получ. см. [Meth. Enzymol. **28**, 306 (1972)].
Фарнезилдифосфат (*транс, транс*-3,7,11-триметилдодекатриен-2,6,10-ил-1-дифосфат; фарнезилпирофосфат)	 *M* 382,3	Лабилеи в кисл. раств., скорость гидрол. меняется обратно пропорционально pH, что свидетельствует о том, что в р-цию гидролиза вступают неионизованные молекулы. При 22 °С полн. гидрол. происходит за ~5 сут при pH 4 и <6 ч при pH 1. Довольно уст. в нейтр. и щел. раств. При pH 8 и −20 °С гидрол. на 2% за 3 мес; в 0,1 КОН при 100 °С гидрол. на 15% за 1 ч. Крист. соли Li и S-бензилизотиурония. Получ. см. [Ann. **654**, 180 (1962); JBC **237**, 56 (1962); BJ **104**, 57 (1967); Meth. Enzymol. **15**, 359, 445 (1969)].
Формилглицинамидрибонуклеотид (2-формамидо-N-рибозилацетамид-5′-фосфат)	 *M* 314,2	pK_a 6,40. Формильиая гр. гидрол. 0,1 М HCl при 100 °С за 15 мин. 25% фосфата освобождается за 60 мин при 100 °С в 1 М HCl, глицин и NH_3 освобождаются в тех же усл. Получ. см. [JBC **221**, 1057, 1071 (1956); Meth. Enzymol. **6**, 678 (1963)].
Фосфоаргинин (L-аргининфосфат)	 *M* 254,2	pK_a 2,0; 4,5; 9,4; 11,2. $t_{пл}$ 175 ÷ 180 (свободная кисл.). Li_2-соль: $t_{пл}$ 180. Гидрол. на 100% за 1 мин в 0,1 М HCl при 100 °С. Получают в виде уст. Ва-соли (содержание Ва иемиого варьирует, содержит также HCO_3^-). Получ. см. [BJ **62**, 358 (1956); **92**, 429 (1964)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
3-Фосфогидроксипировиноградная кислота	$H_2O_3POCH_2COCOOH$ *M* 184,0	Гидрол. иа 50% за 20 мин в 1 М HCl при 90 °С и за 15 ч в 1 М щёл. при комн. т. (ЦГА)$_2$-соль диметилкеталя: крист. +1 H_2O; $t_{пл}$ 183 ÷ 185. Свободная кисл. регеиерируется обработкой дауэксом 50 (H^+) (см. получ.) (раств. содержит также MeOH). Получ. см. [Biochem. Preps. **7**, 66 (1960); Meth. Carbohydr. Chem. **2**, 286 (1963)].
Фосфогликолевая кислота	$H_2O_3POCH_2COOH$ *M* 156,0	Гидрол. на 7,8% за 2 ч в 0,5 М H_2SO_4 при 100 °С. Кислая Ba-соль; крист. +1 H_2O. (ЦГА)$_3$-соль: крист. +2 H_2O; уст. при коми. т.
D(+)-2-Фосфоглицериновая кислота (2-фосфоглицериновая кислота)	$CH_2OHCH(OPO_3H_2)COOH$ *M* 186,1	Медл. гидрол. кисл. $[\alpha]_D^{22}$ + 3,6 (c = 2 Na_2-соли в H_2O); +12,9 (c = 1,8 свободиой кисл. в 1 М HCl). Na_3-соль: крист.; +6H_2O; уст. при коми. т.; р. H_2O. (ЦГА)$_3$-соль: крист. Получ. см. [Biochem. Preps. **5**, 66 (1957); JACS **76**, 3188 (1954); BBA **141**, 445 (167)].
D(−)-3-Фосфоглицериновая кислота (3-фосфоглицериновая кислота; эфир Нильсона – Лохмана)	$CH_2(OPO_3H_2)CH(OH)COOH$ *M* 186,1	$[\alpha]_D^{20}$ − 14,5 (в 1 М HCl); − 745 (в раств. молибдата аммоиия). Гидрол. на 50% за 35,7 ч в 1 М HCl при 100 °С, за 3 ч при 125 °С. Кислая Ba-соль: крист. + 2H_2O; умереино р. H_2O, р. разб. мииер. кисл. Na_3-соль: аморф.; о. гигр.; р. H_2O; уст. в сухом состоянии. (ЦГА)$_3$-соль: крист. +3H_2O; р. H_2O. В тв. состоянии соли уст. при комн. т. Раств. легко загрязияются микроорганизмами, если их ие хранить замороженными. Могут содержать иебольшие к-ва 2,3-дифосфоглицериновой кислоты.
6-Фосфоглюконовая кислота (D-Глюконовая кислота-6-фосфат)	 *M* 276,1	При 70 °С превращается в лактон, для которого $[\alpha]_{5461}$ +17,4. Na_3-соль: крист. +2H_2O; в тв. виде уст. при коми. т.; р. H_2O. (ЦГА)$_3$-соль: крист. Ba-соль: аморф. Может содержать ингибиторы 6-фосфоглюкоиатдегидрогеназы.
D-1-Фосфоглюкуроновая кислота	 α-аиомер *M* 274,1	β-Аномер, крист. дибруциновая соль; раств-сть: 0,4 H_2O; крист. дибензиламмониевая соль: $[\alpha]_D^{20}$ − 14 (c = 2,6 в H_2O). α-Аномер; K_3-соль: крист. + 5 H_2O; $[\alpha]_D^{20}$ + 51 (c = 2,4 в H_2O); разл. > 150 °С; спекается при 100 °С; в 0,01 М кисл. при 61 °С гидрол. иа 50% за 60 ч. Раств. иаиболее уст. при pH 8. Получ. см. [JCS **1952**, 1578; **1958**, 4128 (α-аномер); JBC **197**, 863 (1952) (β-аномер)].

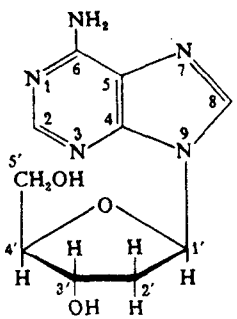
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Фосфоенолпировиноградная кислота (фосфопировиноградная кислота)	$CH_2{=}C(OPO_3H_2)COOH$ *M* 168,0	Гидрол. на 50% за 8,3 мин в 1 М HCl при 100 °С. Легко гидрол. щел. Чувствительна к ионам тяжелых металлов. Кислые моно-К-соль и моно-Na-соль: $+1H_2O$; негигр.; в тв. состоянии уст. при 4 °С; р. H_2O (дают кисл. раств., которые следует сразу нейтрализовать). Нейтр. соли: Na_3-соль; безводн. или $+2H_2O$; $(ЦГА)_3$-соль в тв. состоянии уст. при 4 °С ⩾ 1 год; р. H_2O (дает нейтр. раств.). Раств. следует хранить нейтр. и каждую неделю готовить заново.
Фосфокреатин (креатинфосфат)	 *M* 211,1	pK_a 2,7; 4,58. О неуст. в кисл.; полн. гидрол. за 1 мин в 1 М HCl при 100 °С, на 50% гидрол. за 4 мин в 0,5 М HCl при 25 °С. Гидрол. ускоряется молибдатом, и креатинфосфат ведет себя как P_i в методе определения фосфата по Фиске–Суббароу. Гидрол. протекает медл. при pH 7,8; слабощел. раств. уст. на хол. в течение нескольких сут., но сразу же гидрол. при небольшом подкислении. Na_2- и (трис)$_2$-соли: крист.; уст. на хол.; р. H_2O. Na_2-соли: $+4H_2O$; гигр.; образует гексагидрат, но уст. в вакууме над осушителем.
5-Фосфомевалоновая кислота (фосфомевалоновая кислота)	 *M* 228,1	Природное соединение левовращающее. Уст. 7 мин при 100 °С в 1 М HCl или 1 М KOH; гидрол. на 9% за 60 мин в 1 М HCl. pK_1 1,7; pK_2 4,6; pK_3 6,9. $(ЦГА)_2$- и $(ЦГА)_3$-соли: крист.; $t_{пл}$ 145 ÷ 147 и 152 ÷ 154. Получ. см. [Meth. Enzymol. **6**, 505 (1963); **15** 410 (1969)].
4-Фосфопантотеновая кислота	 *M* 299,2	Гидрол. на 56% за 160 мин при 100 °С в 2 М HCl. Уст. 2 ч при 100 °С в 0,05 М KOH. Ba-соль: р. H_2O. Li-соль: получ. см. [Meth. Enzymol. **62**, 236 (1979)].
Фосфорибозилдифосфат (фосфорибозилпирофосфат; α-D-рибофуранозо-1-пирофосфат-5-фосфат; 5-фосфорибозил-1-пирофосфат)	 *M* 390,1	pK_a 5,9; 6,7. Полная потеря пирофосфатной гр. в виде неорг. пирофосфата за 20 мин при 65 °С и pH 3,0 50% при pH 6,7. Раств. уст. при pH 8 на хол., можно хранить несколько мес. при pH 8 и – 20 °С. Na_4-соль: в тв. состоянии уст. несколько мес., если высушена и защищена от света. Получ. см. [Biochem. Preps. **8**, 110 (1961)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
5-Фосфошикимовая кислота	 *M* 254,1	Гидрол. на 25–30% за 30 мин в 0,1 М HCl при 120 °C. $[\alpha]_D^{29}$ – 107,6 (c = 1,02 К-соли в H_2O). Получ. см. [JACS **78**, 2894 (1956); Meth. Enzymol. **17A**, 351 (1970)]. 3-Еноилпирувилшикимат-5-фосфат: получ. см. [JBC **239**, 1142 (1964)].
D-Фруктозо-1,6-дифосфат (гексозодифосфат; эфир Харден – Янга; FDP)	 *M* 340,1	$[\alpha]_D^{17}$ + 4 (свободной кисл. в H_2O), pK_a 1,48; 6,29 (для каждой фосфатной гр.). Для 1-фосфата 50%-ный гидрол. в 1 М HCl при 100 °C за 6 мин и для 6-фосфата 75 мин. Na_3-соль: крист. $+8H_2O$; негигр.; х. р. H_2O, в тв. состоянии уст. при 4 °C; нейтр. раств. уст. при –15 °C. Na_4-соль: о. гигр. $(ЦГА)_4$-соль: крист. $+10H_2O$; х. р. H_2O, в тв. состоянии уст. при 4 °C. Mg_2-соль: в тв. состоянии уст.; х. р. H_2O. Ba_2- и Ca_2-соли раств-сть: 0,5 в H_2O; моно-Ba- и моно-Ca-соли раств-сть: 50 H_2O; Ba-соли разл. при хранении. Как правило, соли при стоянии слегка желтеют, но заметного разл. не наблюдается.
D-Фруктозо-2,6-дифосфат	 β-аномер *M* 340,1	Природное соединение – β-аномер. Неуст. в кисл. (образуется фруктозо-6-фосфат и P_i); при pH 3 и 22 °C 50%-ный гидрол. за 7 мин, в 0,01 М HCl при 0 °C за ~15 мин и при 20 °C за < 3 мин. Уст. в щел., напр. уст. при 100 °C 30 мин в 0,01 М NaOH или 15 мин в 0,1 М KOH. Получ. см. [JBC **256**, 3171 (1981); EJB **117**, 319 (1981); Meth. Enzymol. **89**, 101 (1982)]. Стимулирует фосфофруктокиназу и ингибирует фруктозодифосфатазу. См. обзор (BJ **206**, 1 (1982)].
D-Фруктозо-1-фосфат	 *M* 260,1	$[\alpha]_D^{20}$ – 52,5 (свободная кисл. в H_2O). Полн. гидрол. в 1 М HCl при 100 °C за 30 мин, на 50% гидрол. за 2,8 мин; при pH 4 и 37 °C гидрол. на 50% за ~10 ÷ 15 мин. Ba- и $(ЦГА)_2$-соль: крист.; р. H_2O. Na_2-соль: аморф., р. H_2O. Соли уст. при 4 °C в сухом состоянии, при хранении в течение 6–12 мес могут слегка желтеть, но заметного разл. не наблюдается. Следует использ. свежеприготовленные раств.
D-Фруктозо-6-фосфат (эфир Нойберга)	*Ср.* Фруктозо-1-фосфат *M* 260,1	pK_a 0,97; 6,11. $[\alpha]_D^{21}$ + 2,5 (c = 3 в H_2O). Гидрол. на 50% в 1 М HCl при 100 °C за 70 мин. Менее уст. к щел. Нейтр. раств. уст. несколько нед. Na_2-соль: аморф.; гигр.; р. H_2O. Ba-соль: аморф.; р. H_2O. Соли уст. при

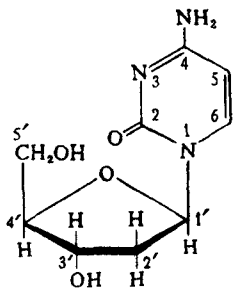
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		комн. т., если высушены; могут слегка желтеть при длительном хранении, но без заметного разл.
Холинфосфат (фосфохолин; холинфосфориая кислота)	$(CH_3)_3N^+CH_2CH_2OPO_3H^-$ *M* 183,1	Раств-сть в H_2O 55^{20} (свободная кисл.), 20^{20} (Са-соль). Уст. в кисл., гидрол. на 15% за 5 ч при 100 °С в 1 М HCl. В щел. полн. гидрол. за 4 ч при кипячении (обратный холодильник) в присутствии насыщ. $Ba(OH)_2$. Обычно получают в виде хлорида Са-соли; крист. $+4H_2O$; уст. $\geqslant$12 мес при комн. т.
D-Эритрозо-4-фосфат	 *M* 200,1	$[\alpha]_D$ +0,5 ($c = 1$ в H_2O). Гидрол. на 50% за 20 мии при 100 °С в 0,5 М H_2SO_4. Более уст. при кисл. pH, чем в нейтр. раств. Нейтр. раств. следует хранить хол. и использ. сразу. Ва-соль диэтилацеталя: в тв. состоянии уст. при 4 °С; р. H_2O. Эритозо-4-фосфат в раств. димеризуется, процесс ускоряется в присутствии триса. Получ. см. [Can. J. Biochem. **44**, 663 (1966); Meth. Enzymol. **9**, 35 (1966)].

4. Компоненты нуклеиновых кислот и родственные соединения

Номенклатура. В литературе используются две номенклатуры для пиримидинов (два различных способа нумерации атомов). Согласно более новой системе, например, урацил имеет систематическое название 2,4-дигидроксипиримидин, а согласно более старой номенклатуре – 2,6-дигидроксипиримидин. Может возникнуть путаница, поскольку в оригинальных работах может быть не указана используемая система. Так, в работах [JCS **1962**, 1348; JACS **85**, 4024 (1963)] под 1-метилцитозином и 3-метилцитозином подразумевается одно и то же соединение; поскольку цитозин – это по старой системе 6-амино-2-гидроксипиримидин, а по новой 4-амино-2-гидроксипиримидин. Широкое обсуждение номенклатуры пиримидинов можно найти в работе [Brown D. J., The Pyrimidines, Interscience, New York and London, 1962]. Далее используется более новый способ нумерации, например:



адениндезоксирибозид

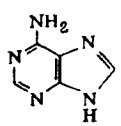


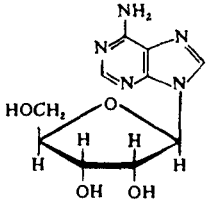
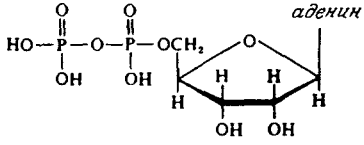
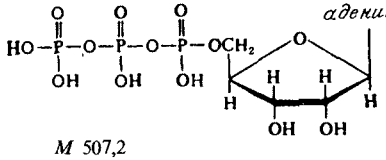
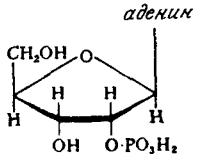
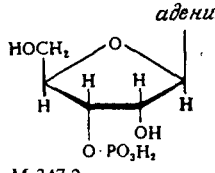
цитозиндезоксирибозид

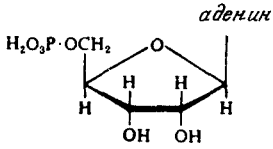
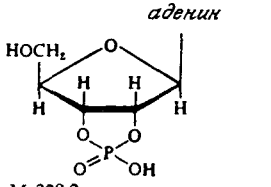
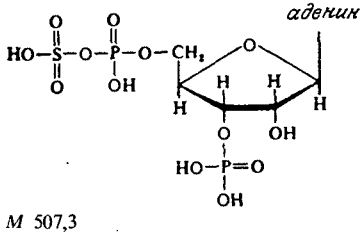
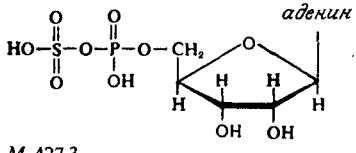
Приняты обычно применяемые сокращения (символы) для обозначения нуклеиновых кислот, полинуклеотидов и их компонентов [BJ **120**, 449 (1970); JBC **245**, 5171 (1970); EJB **15**, 203 (1970)].

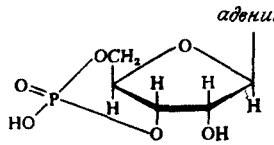
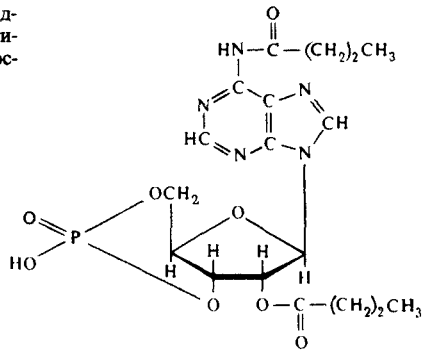
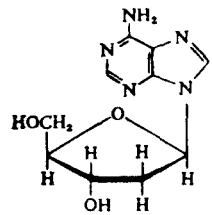
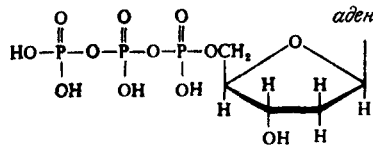
Минорные основания в нуклеиновых кислотах. Наряду с основными (главными) компонентами нуклеиновых кислот, включенными в этот раздел, найдены в небольших количествах многие другие пуриновые и пиримидиновые производные; исчерпывающий обзор этих соединений см. [PNARMB **12**, 49 (1972)].

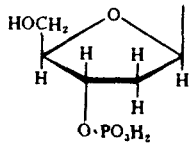
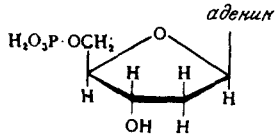
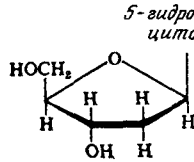
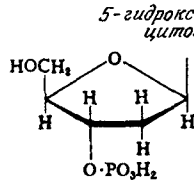
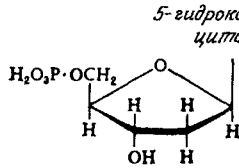
pK_a. Некоторые значения, опубликованные в литературе, могут отличаться от приведенных здесь более чем на $\pm 0{,}1$ ед. pH. Литературные источники данных по pK_a указаны в разд. 5.

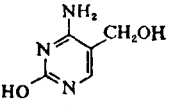
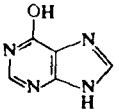
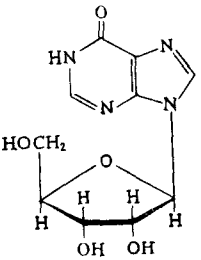
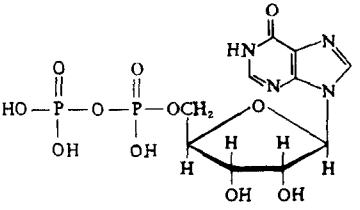
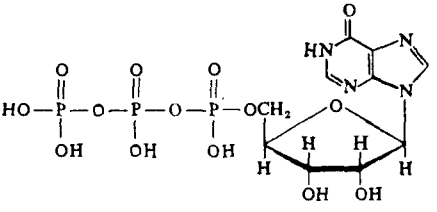
Соединение (синонимы)	Формула и молекуляриая масса	Свойства и другие даниые
Семейство аденина Аденин (6-аминопурин)	 *M* 135,1	pK_a < 1,0; 4,1; 9,8, Раств-сть: $0{,}09^{25}$, $2{,}5^{100}$ H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф., $CHCl_3$. Выделяется из ДНК при гидрол. разб. кисл.

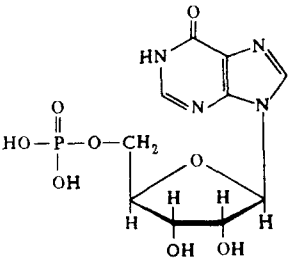
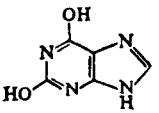
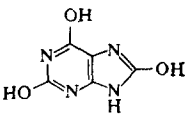
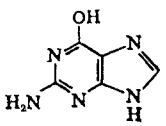
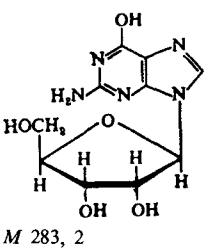
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Аденозин (аденинрибозид; 9-β-D-рибофуранозиладенин, Ado)	 *M* 267,2 Аденозин · 0,5 H_2O: *M* 276,2	pK_a 3,5; 12,5. Раств-сть: р. H_2O; о. п. р. EtOH. Крист. H_2O теряется при 100 °C в вакууме. Легко гидрол. в разб. минер. кисл. до адеиина и D-рибозы. Дезаминируется до инозиина азотистой кисл.
Аденозин-5′-дифосфат (ADP)	 *M* 427, 2 5′-ADP-Na_2 · $2H_2O$: *M* 507,2	pK_a 3,9; 6,1 ÷ 6,7. В 1 М HCl при 100 °C концевая фосфатная гр. освобождается за 10 мин. Гидрол. за 60 мин до аденииа, рибозо-5-фосфата, рибозы и P_i.
Аденозин-5′-трифосфат (ATP)	 *M* 507,2 ATP-Na_2 · $3H_2O$: *M* 605,2 ATP-K_2 · $1,5H_2O$: *M* 610,4	pK_a 4,1; 6,0 ÷ 7,0. 66% фосфора освобождается в виде P_i за 10 мин при 100 °C в 1 М HCl. Нейтр. соли K и Na уст. несколько мес. в раств. при −15 °C, ~ 1 нед при 0 °C, иесколько ч при 0 °C в 7%-ной трихлороуксусиой кисл. В щелоч. раств. разл. до PP_i и аденозин-5′-фосфата даже при 0 °C.
Аденозин-2′-фосфат (2′-AMP; адеииловая кислота a)	 *M* 347,2 2′-AMP · H_2O: *M* 365,2	pK_a 3,8; 6.2. Получают наряду с 3′-изомером при щел. гидрол. РНК (0,3 М KOH, 37 °C, 16 ч.). Полн. гидрол. до аденина, рибозо-5-фосфата, рибозы и P_i в 1 М HCl при 100 °C за 1 ч.
Аденозин-3′-фосфат (3′-AMP; дрожжевая адениловая кислота; адениловая кислота b)	 *M* 347,2 3′-AMP · H_2O: *M* 365,2	pK_a 3,7; 5,9. Получают наряду с 2′-изомером при щел. гидрол. РНК (0,3 М KOH, 37 °C, 16 ч). Кисл. гидрол. протекает, как и гидрол. 2′-AMP. При перегонке из 20%-ной HCl в течение 3 ч наблюдается кол-венный выход фурфурола (*см.* Аденозин-5′-фосфат).

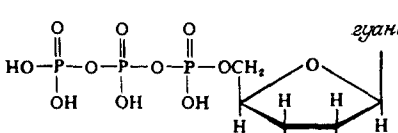
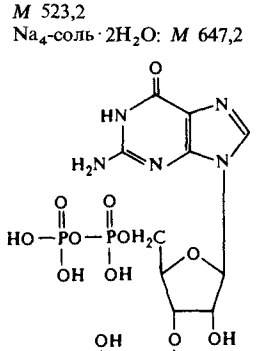
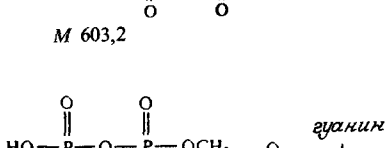
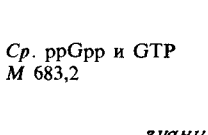
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Аденозин-5′-фосфат (5′-AMP; мышечная адениловая кислота)	 *M* 347,2′ 5′-AMP·H_2O: *M* 365,2	pK_a 3,8; 6,2 ÷ 6,4. Раств-сть: р. гор. H_2O. Кисл. гидрол. протекает, как у 2′-фосфата. При перегонке из 20%-ной HCl образуются только следы фурфурола (*см.* Аденозин-3′-фосфат).
Аденозин-2′,3′-циклофосфат (2′,3′-цикло-AMP; 2′,3′-cAMP)	 *M* 329,2 2′, 3′-cAMP·H_2O; *M* 347,2 2′, 3′-cAMP-NH_4: *M* 346,2	Получается в качестве промежуточного продукта при щел. гидрол. РНК. Легко превращается в смесь 2′- и 3′-фосфатов под действием разб. кисл. и щел. при комн. т.
Аденозин-3′-фосфат-5′-фосфосульфат (PAPS; 3′-фосфоаденозин-5′-фосфосульфат; 3′-фосфо-5′-аденилилсульфат)	 *M* 507,3	Раств-сть: р. H_2O. Тв. в-во при 37 °C разл. на 15–20% в день. Хранить при низкой темп. Сульфатная гр. быстро гидрол. в кисл. до 3′, 5′-ADP и сульфата; период полупревращения в 0,1 M HCl при 37 °C 6 мин. Ср. уст. в щел.; заметного гидрол. не происходит в 0,1 M NaOH при 37 °C за 2 ч, частичный гидрол. наблюдается за 2 ч. при 100 °C. Раств. уст. при pH 8 и в замороженном состоянии. Реагирует с NH_4^+, образуя 5′-фосфоамид. Спектр: аналогичен спектру 5′-AMP; ε_{260} 14500. Получ. см. [Biochem. Preps. **10**, 3 (1963); JBC **239**, 2986 (1964); BBA **480**, 376 (1977); Meth. Enzymol. **6**, 766 (1963); Molec. Pharmacol. **2**, 56 (1966); JBC **249**, 2079 (1974)].
Аденозин-5′-фосфосульфат (APS; аденозин-5′-сульфофосфат; 5′-аденилилсульфат)	 *M* 427,3	Раств-сть: р. H_2O. Тв. в-во разл. при 37 °C на 7% в день; хранить при низкой темп. Сульфатная гр. быстро гидрол. в кисл., уст. в разб. щел., как и в случае аденозин-3′-фосфат-5′-фосфосульфата. Раств. уст. при pH 8 и в замороженном состоянии. Спектр: аналогичен спектру аденозиновых нуклеотидов; λ_{max} 259 нм, ε 15400 (pH 7). Получ. см. [Method. Enzymol. **6**, 766 (1963); JBC **239**, 2986 (1964); Anal. Biochem. **42**, 207 (1971); Z. Naturforsch. C **34**, 346 (1979)].

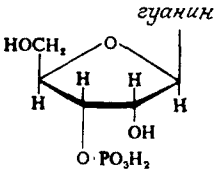
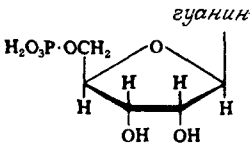
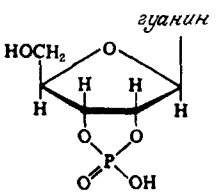
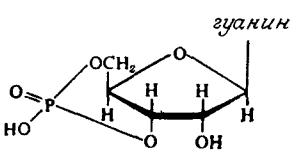
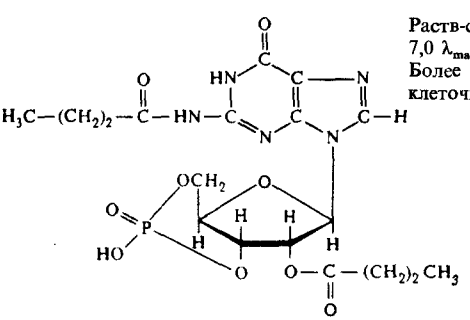
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Аденозин-3′,5′-циклофосфат (3′,5′-цикло-AMP; 3′,5′-cAMP, цАМФ)	 *аденин* *M* 329,2 3′, 5′-cAMP·H_2O: *M* 347,2 3′, 5′-cAMP-Na·$2H_2O$: *M* 387,2	Раств-сть: р. H_2O. Циклонуклеотиды более уст. к кисл., чем иециклические монофосфаты. В 1 М HCl при 100 °С время выделения 50% аденина для циклофосфата 30 мии и для аденозин-2′(3′- или 5′)-фосфата 2–4 мин. 0,2 М $Ba(OH)_2$ при 100 °С за 30 мин полн. гидрол. циклофосфат до смеси 3′-AMP и 5′-AMP (5:1). Синтезируется аденилатциклазой в ответ на некоторые гормональные стимуляторы; действует как «второй» посредник при клеточном гормональиом контроле путем стимуляции протеинкиназ. Спектр: pH 2 λ_{max} 256 им, ε 14500; pH 7 λ_{max} 258 нм, ε 14650.
Дибутирильное производное cAMP (N^6, O^2-дибутириладенозин-3′,5′-циклофосфат; Bu_2-cAMP)	 *M* 469,4 Na-соль: *M* 491,4	Раств-сть: р. H_2O. Дибутирильное производное проникает в клетки более эффективно, чем cAMP, и обычно использ. для иитактиых клеток. ε_{273} (pH 7) 17400. При pH 8,5 образует N^6-моиобутирильное производное.
2′-Дезоксиаденозин (аденин-дезоксирибозид; 9-β-D-2′-дезоксирибофуранозиладенин)	 *M* 251,2 Гидрат (·H_2O): *M* 269,2	pK_a 3,8. Раств-сть: р. H_2O. Получается при ферментативном гидрол. ДНК. Легко гидрол. разб. кисл. Гидрат теряет крист. H_2O при 80 °С в вакууме.
2′-Дезоксиаденозин-5′-трифосфат (адениндезоксирибозо-5′-трифосфат; dATP)	 *аденин* *M* 491,2 Na_2-соль·$3H_2O$: *M* 589,2	pK_a 4,8; 6,8.

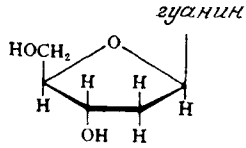
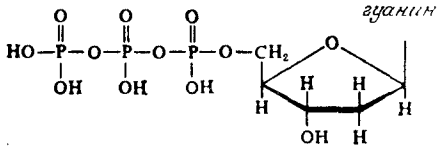
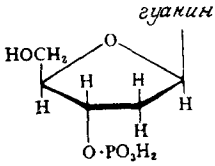
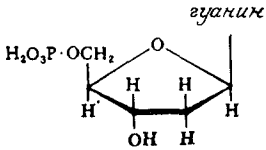
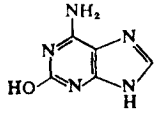
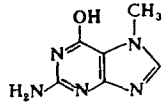
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
2′-Дезоксиаденозин-3′-фосфат (адениндезоксирибозо-3′-фосфат; 3′-дезоксиадениловая кислота)	*аденин*  *M* 331,2	pK_a 4,4; 6,4. Легко гидрол. разб. минер. кисл. Кол-венно освобождается из ДНК под действием фосфодиэстераз из *Micrococcus pyogenes* и селезенки теленка [JBC **236**, 864 (1961)].
2′-Дезоксиадеиозин-5′-фосфат (адениндезоксирибозо-5′-фосфат; 5′-дезоксиадеиниловая кислота; dAMP)	*аденин*  *M* 331,2 Na_2-соль·H_2O: *M* 393,2 Гидрат (·H_2O): *M* 349,2	pK_a 4,4; 6,4. Легко гидрол. разб. минер. кисл. Освобождается при нагрев. из ДНК днэстеразой из *E. coli* [JBC **235**, 1479 (1960)] или панкреатической ДНКазой с последующей обработкой диэстеразой змеиного яда.
Семейство гидроксиметилцитозина		
5-Гидроксиметилдезоксицитидни (5-гидроксиметилцитозиндезоксирибозид)	*5-гидроксиметилцитозин*  *M* 257,2	pK_a 3,5. Выделяется из кисл. гидролизатов (10%-ная $HClO_4$, 100 °C, 1 ч) ДНК Т-четных бактериофагов *E. coli*. Крист. пикрат; см. [JBC **226**, 631 (1957)].
5′-Гидроксиметил-2′-дезоксицитидин-3′-фосфат (5-гидроксиметилцитозиидезоксирибозо-3′-фосфат)	*5-гидроксиметилцитозин*  *M* 337,2	Выделяется из ДНК бактериофага T2, разрушеиной дифениламином и диэстеразой из селезенки теленка.
5-Гидроксиметил-2′-дезоксицитидии-5′-фосфат (5-гидроксиметилцитозин-2′-дезоксирибозо-5′-фосфат)	*5-гидроксиметилцитозин*  *M* 337,2	Раств-сть: ~4,5 мкмоль/мл при 0 °C и pH 3,0. Отличается от глюкозилированного производного по спектру при pH 4,3 [Science **120**, 551 (1954)]. Получают из ДНК фагов T2 и T6 гидролизом фосфодиэстеразой *E. coli* или неколичественно панкреатической ДНКазой с последующей обработкой диэстеразой змеиного яда. Снитезированы соответствующие ди- и трифосфаты [JBC **235**, 2688 (1960)].

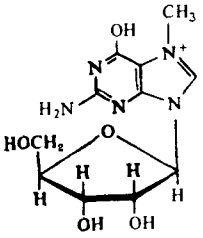
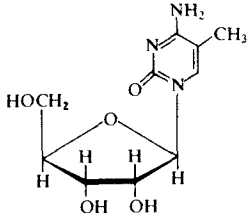
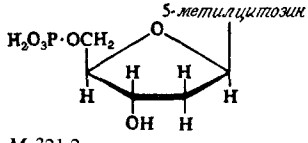
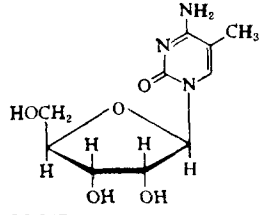
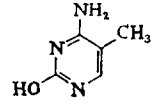
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
5-Гидроксиметилцитозин (4-амино-2-гидрокси-5-гидроксиметилпиримидин)	 *M* 141,1 Гидрат (·0,5H_2O): *M* 150,1	pK_a 4,3; ~13. Раств-сть: м. р. H_2O. Выделяется из кисл. (88%-ная HCOOH или 6 М HCl) гидролизатов ДНК Т-четных бактериофагов *E. coli*. Разрушается при нагрев. ДНК с 72%-ной $HClO_4$. Крист. пикрат: см. [JBC **226**, 631 (1957)].
Семейство гипоксантина		
Гипоксантин (6-гидроксипурин)	 *M* 136,1	pK_a 2,0; 8,9; 12,1. Раств-сть: 0,07[19], 1,4[100] H_2O; р. разб. кисл. и щел. Образуется в процессе катаболизма адеиина. Разл. <5% через 1 ч при 100 °С в 0,5 М H_2SO_4 или 10 М NaOH. Образуется из адеиина дезаминированием азотистой кисл.
Инозин (гипоксантинрибозид; 9-β-D-рибофураиозилгипоксантин)	 *M* 268,2	pK_a 1,2; 8,9; 12,5. Раств-сть: 1,6[20] H_2O; о. п. р. EtOH. Не является обычным компонеитом иуклеиновых кисл., но может получаться при выделении их компонеитов. В иебольших кол-вах выделяют из дрожжевой тРНК. Легко гидрол. в разб. минер. кисл. до гипоксантина и D-рибозы. Получают дезаминированием аденозина азотистой кисл.
Инозин-5′-дифосфат (IDP; 5′-IDP; гипоксантинрибозил-5′-дифосфат)	 *M* 428,2 Na_2-соль: *M* 472,2 Na_2-соль·H_2O: *M* 490,2	Получают дезаминированием ADP.
Инозии-5′-трифосфат (ITP; 5′-ITP; гипоксаитинрибозилтрифосфат)	 *M* 508,2 Na_3-соль·H_2O: *M* 592,2	pK_a 6,9. Получают дезаминироваиием ATP. 2′-Дезоксиииозии-5′-трифосфат: *M* 492,2.

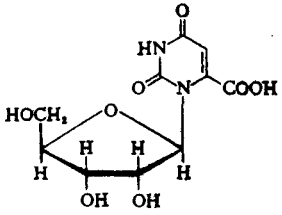
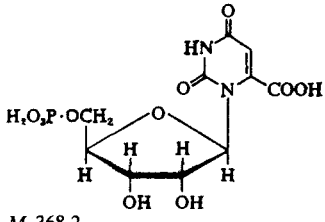
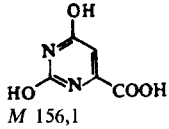
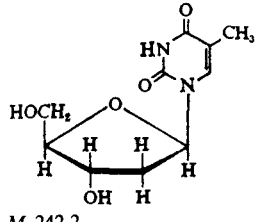
Соединение (синонимы)	Формула и молекуляриая масса	Свойства и другие данные
Ииозии-5′-фосфат (5′-IMP; 5′-инозиновая кислота; гипоксантинрибозил-5′-фосфат)	 *M* 348,2 Na_2-соль·$2H_2O$: *M* 428,2	pK_a 1,5; 6,0; 8,9. Раств-сть: р. H_2O, муравьиная кисл.; о.п. р. EtOH, эф. Получают дезамиинрованием AMP. Гидрол. разб. кисл. до гипоксантиина, рибозо-5-фосфата, D-рибозы и P_i.
Ксаитин (2,6-диоксопурин)	 *M* 152,1	pK_a 0,8; 7,4; 11,1. Раств-сть: $0,05^{20}$, $0,2^{100}$ H_2O; м.р. EtOH; р.щел.; н.р. орг. раств-ли. Разл. <10% за 1 ч при 100 °C в 0,5 M H_2SO_4 или 10 M NaOH. Образуется из гуаиина дезаминированием азотистой кисл. Рибозид: выд. см. [JCS **1933**, 663]; синт. см. [JCS **1949**, 232].
Семейство гуанина		
Мочевая кислота (2,6,8-тригидроксипурии)	 *M* 168,1	pK_a 5,4; 11,3. Раств-сть: $0,002^{20}$, $0,05^{100}$ H_2O; р., щел. глицерин; н.р. EtOH, эф. Основной конечный продукт метаболизма азота у птиц и рептилий. Обычиый промежуточный продукт метаболизма пуринов у животных. Подвергается дальнейшему метаболизму в организме большинства млекопитающих, ио ие у человека. Присутствует в моче всех плотоядных животных.
Гуанин (2-амино-6-гидроксипурин)	 *M* 151,1	pK_a 3,3; 9,2; 12,3. Раств-сть: р. кисл. и щел., о.п.р. EtOH; н.р. H_2O ($0,004^{40}$), орг. раств-ли.
Гуанозин (9-β-D-рибофуранозилгуанин)	 *M* 283, 2	pK_a 1,6; 9,2; 12,4. Раств-сть: $0,08^{18}$, $3,0^{100}$ H_2O; р. разб. минер. кисл. и щел., гор. укс. кисл.; н.р. эф., EtOH $CHCl_3$, бенз. Легко гидрол. в разб. минер. кисл. до гуанина и D-рибозы. Дает голубую флуоресценцию в УФ-свете при pH 1, но не в щел. Дезаминируется до ксантозина азотистой кисл.

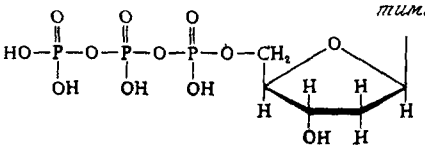
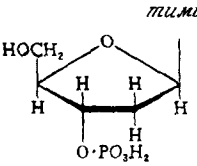
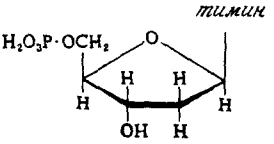
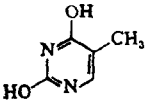
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Гуанозин-5′-дифосфат (GDP)	 *M* 523,2 Na_4-соль·$2H_2O$: *M* 647,2	pK_a <1; 2,9; 6,3; 9,6. 50% общего содержания фосфора освобождается в виде P_i через 15 мин в 0,5 М H_2SO_4 при 100 °С, через 1 ч превращается в гуанин, рибозо-5-фосфат, рибозу и P_i.
Гуанозин-5′-дифосфат-3′-дифосфат (ppGpp; гуанозинтетрафосфат; магическое пятно I; MSI)	 *M* 603,2	Сиитезируется в *E. coli* путем переноса пирофосфата из ATP к GDP при аминокислотном голодании, участвует в механизме строгого контроля (ингибирование синтеза рРНК). Сиит. см. обзоры [Biochem. **14**, 981 (1975); PNARMB **17**, 1 (1976)]. Ингибирует аденилсукцинатсинтетазу [JBC **254**, 2579 (1979)]. 3′-Дифосфатные гр. более лабильны, чем 5′; хранить при −70 °С. ppGpp щелочелабилен (в 0,3 М КОН при 37 °С $t_{1/2}$ 6,5 мин).
Гуаиозин-5′-трифосфат (GTP)	 *M* 443,2 Na-соль·$2H_2O$: *M* 501,2	pK_a < 1; 3,3; 6,3; 9,3. 66% общего содержания фосфора освобождается в виде P_i через 15 мин в 0,5 М H_2SO_4 при 100 °С; через 1 ч превращается в гуаиин, рибозо-5-фосфат, рибозу и P_i.
Гуанозин-5′-трифосфат-3′-дифосфат (pppGpp; магическое пятно II; MSII)	*Ср.* ppGpp и GTP *M* 683,2	Аналогичеи ppGpp; синтезируется из ATP и GTP.
Гуанозин-2′-фосфат (2′-гуаниловая кислота; 2′-GMP)	 *M* 363,2	pK_a 0,7; 2,3; 5,9; 9,4. Раств-сть: р. H_2O. Получают наряду с 3′-изомером при щел. гидрол. РНК (0,3 М КОН, 37 °С, 16 ч). Гидрол. до гуанина, рибозы и P_i в 1 М HCl при 100 °С за 1 ч. pK_a приведеиы для смеси 2′- и 3′-изомеров.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие даниые
Гуанозин-3′-фосфат (3′-гуаниловая кислота; 3′-GMP)	 *M* 363,2 Na_2-соль·$2H_2O$: *M* 443,2	pK_a 2,3; 5,9; 9,7. Раств-сть: р. H_2O. Аналогичеи 2′-изомеру. Один из продуктов действия рибонуклеазы T_1 из такадиастазы на РНК.
Гуанозин-5′-фосфат (5′-гуаниловая кислота; 5′-GMP; GMP)	 *M* 363,2 5-GMP-Na_2·H_2O: *M* 425,2	pK_a 2,4; 6,1; 9,4. Кисл. гидрол. аналогичеи гидрол. гуанозии-2′-фосфата.
Гуанозин-2′,3′-циклофосфат (2′,3′-цикло-GMP; 2′,3′-cGMP)	 *M* 345,2 $Ba_{0,5}$-соль·$3H_2O$: *M* 466,9	Получают как промежуточное соединение при гидрол. РНК рибонуклеазой T_1 из такадиастазы или щел. Легко превращается в 3′-фосфат нуклеазой T_1 и рибонуклеазой из листьев растений и в смесь 2′- и 3′-фосфатов разб. кисл. и щел. Не атакуется панкреатической рибонуклеазой.
Гуанозин-3′,5′-циклофосфат (3′,5′-цикло-GMP; cGMP)	 *M* 345,2 Гидрат (·$0,5H_2O$): *M* 354,2 Na-соль: *M* 367,2	По-видимому, участвует в клеточных механизмах контроля.
дибутирильное производное (N^2-2′-O-дибутирилгуанозин-3′,5′-циклофосфат; diBu-cGMP)	 *M* 485,4 Na-соль: 507,4	Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Спектр: pH 7,0 λ_{max} 260 нм, ε 16700. Уст. при 4 °C. Более эффективно проникает через клеточные мембраны, чем cGMP.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
2′-Дезоксигуаиозин (гуаниндезоксирибозид; 9-β-D-2′-дезоксирибофураиозилгуанин)	 *M* 267,2 Гидрат (·H_2O): *M* 285,2	pK_a 2,5. Раств-сть: р. H_2O. Легко гидрол. разб. минер. кисл.
2′-Дезоксигуанозин-5′-трифосфат (гуаниндезоксирибозо-5′-трифосфат; dGTP)	 *M* 507,2 Na_4-соль·$2H_2O$: *M* 631,2	pK_a 3,5; 6,5; 9,7.
2′-Дезоксигуанозин-3′-фосфат (гуаниндезоксирибозо-3′-фосфат; 3′-дезоксигуаниловая кислота)	 *M* 347,2 $(NH_4)_2$-соль·$2H_2O$: *M* 417,3	Легко гидрол. разб. мииер. кисл. Колвенно освобождается из ДНК под действием диэстераз из *Micrococcus pyogenes* и селезенки теленка [JBC **236**, 864 (1961)]. Диэстераза из *Lb. acidophilus* освобождает 3′-фосфаты из олигодезоксирибонуклеотидов [JBC **238**, 2789 (1963)].
2′-Дезоксигуанозин-5′-фосфат (гуаниндезоксирибозо-5′-фосфат; 5′-дезоксигуаниловая кислота; dGMP)	 *M* 347,2 Na_2-соль·$2H_2O$: *M* 427,2	pK_a 2,9; 6,4; 9,7. Легко гидрол. разб. минер. кисл. Получаются путем гидрол. нагретой ДНК под действием фосфодиэстеразы из *E. coli* [JBC **235**, 1479 (1960)] или панкреатической ДНКазы с последующей обработкой диэстеразой змеиного яда.
Изогуанин (2-гидрокси-6-аминопурин)	 *M* 151,1 $(C_5H_5N_5O)_2 \cdot H_2SO_4 \cdot H_2O$: *M* 418,3	pK_a 4,5; 9,0. Раств-сть: 0,006[25]. 0,025[100] H_2O. Обнаружен в виде нуклеозида (кротонозида) в кротоновых бобах [JACS **61**, 350 (1939)]. Кристаллизационная H_2O сульфата не удаляется при 130 °C в ваууме за 3 ч. Не дезаминируется азотистой кисл. Немного флуоресцирует в УФ-свете при pH 1, 7, 11 и 13 [Anal. Biochem. **3**, 49 (1962)].
7-Метилгуанин	 *M* 165,2	pK_a ~0; 3,5; 9,9. В небольших кол-вах присутствует в моче человека (в норме) и в тРНК. Компонент «кэпа» эукариотических мРНК.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
7-Метилгуанозин	 *M* 297,3	pK_a 7,0. В небольших кол-вах присутствует в тРНК. Гидрол. до 7-метилгуанина и D-рибозы при нагрев. до 100 °C за 1 ч в воде, метаноле или 1 М H_2SO_4. Коиец «кэпированных» эукариотических мРНК [PNAS **72**, 1189 (1975); Nature **255**, 33 (1975)].
Семейство 5-метилцитозина		
5-Метил-2′-дезоксицитидин (5-метилцитозиндезоксирибозид; 3-β-D-2′-дезоксирибофуранозил-5-метилцитозин)	 *M* 241,2 Гидрохлорид (·HCl): *M* 277,7	pK_a 4,4; >13. Раств-сть: р. H_2O. Выделяется из ДНК пшеницы. Гидрохлорид: теряет H_2O при 100 °C в вакууме за 48 ч.
5-Метил-2′-дезоксицитидин-5′-фосфат (5-метилдезоксицитидиловая кислота)	 *M* 321,2	pK_a 4,4. Получается гидрол. ДНК из зародышей пшеницы панкреатической ДНКазой и диэстеразой змеиного яда.
5-Метилцитидин	 *M* 257,2	pK_a 4,3; >13. Распространен как 5-метилцитозин. Дезаминируется азотистой кисл. до тимидинрибозида.
5-Метилцитозин (4-амино-2-гидрокси-5-метилпиримидин)	 *M* 125,1	pK_a 4,6; 12,4. Раств-сть: 0,45^{25} H_2O. 5-Метилцитозин составляет ~6% (мол.) общего содержания оснований ДНК, в небольших количествах присутствует в рибосомной и тРНК из многих источников. Дезаминируется азотистой кисл. до тимина.

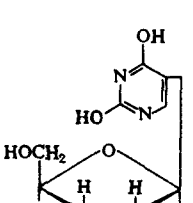
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Семейство оротовой кислоты		
Оротидин (рибозид оротовой кислоты; 3-β-D-рибофуранозилоротовая кислота)	 *M* 288,2 Соль с циклогексиламиином ($C_6H_{13}N$): *M* 387,4	Раств-сть: р. H_2O, EtOH, водн. EtOH. Легко гидрол. разб. минер. кисл. Выделяется в ср. больших кол-вах из мочи больных раком, получающих в качестве химиотерапевтического средства 6-азауридин-5′-фосфат. Циклогексиламониевая соль: $t_{пл}$ 183 ÷ 184.
Оротидин-5′-фосфат	 *M* 368,2 Na_3-соль·$3H_2O$: *M* 488,2	Промежуточное соединение при биосинтезе уридиловой и цитидиловой кисл.
Оротовая кислота (урацил-6-карбоновая кислота; 6-карбоксиурацил)	 *M* 156,1 Гидрат (·H_2O): *M* 174,1	pK_a 2,4; 9,5; >13,0. Раств-сть: 0,18[18] H_2O. Найдена в молоке животных. Накапливается в больших кол-вах в процессе роста мутантов *Neurospora*, для чего необходимы уридин, цитидин или урацил. Рибонуклеотид – предшественник в биосинтезе пиримидиновых нуклеотидов.
Семейство тимина		
2′-Дезокситимидин (тимидин; 3-β-D-2′-дезоксирибофураиозилтимии; тимидезоксирибозид)	 *M* 242,2	pK_a 9,8; >13.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
2′-Дезокситимидин-5′-трифосфат (тимидезоксирибозо-5′-трифосфат; тимидин-5′-трифосфат; dTTP)	 *M* 482,2 Na_4-соль · $3H_2O$: *M* 624,2	
2′-Дезокситимидин-3′-фосфат (тимидезоксирибозо-3′-фосфат; тимидин-3′-фосфат; 3′-тимидиловая кислота)	 *M* 322,2 $(NH_4)_2$-соль · $2H_2O$: *M* 392,3	Кол-венно освобождается из ДНК фосфодиэстеразами из *Micrococcus pyogenes* и селезеики теленка [JBC **236**, 864 (1961)].
2′-Дезокситимидин-5′-фосфат (тимидезоксирибозо-5′-фосфат; 5′-тимидиловая кислота; dTMP)	 *M* 322,2 Na-соль · $3H_2O$: *M* 398,2	pK_a 1,6; 6,5; 10,0. Получают из прогретой ДНК путем гидрол. диэстеразой *E. coli* [JBC **235**, 1479 (1960)] или панкреатической ДНКазой и диэстеразой змеиного яда.
Тимин (5-метилурацил)	 *M* 126,1	pK_a ~0; 9,9; >13,0. Раств-сть: $0{,}4^{25}$ H_2O; р. гор. H_2O; м. р. EtOH; о. п. р. эф. Помимо ДНК, найден также в небольших кол-вах в тРНК из многих источников. Выделеи также рибонуклеозид [BJ **70**, 642 (1958)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

Семейство урацила

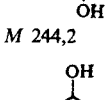
5-Рибозилурацил (псевдоуридин С; 5-β-D-рибозилурацил)



M 244,2

pK_a 9,0; >13. Встречается в виде нуклеотида в значительных кол-вах в рибосомной и тРНК из многих источников. Хороший источник 5-рибозилуридиа – моча больных лейкемией, полицитемией или подагрой. См. [PNARMB **5**, 349, 399 (1966)].

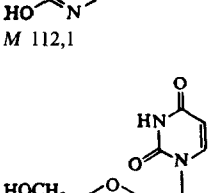
Урацил (2,4-дигидроксипиримидин)



M 112,1

pK_a ~0,5; 9,5; >13,0. Раств-сть: 0,36^{25} H_2O; р.щел.; о.п.р. EtOH; н.р. эф.

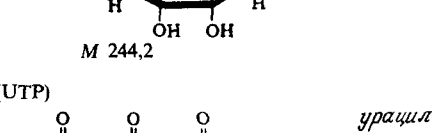
Уридии (урацилрибозид; 3-β-D-рибофураиозилурацил)



M 244,2

pK_a 9,2; 12,5. Раств-сть: р. H_2O; м.р. EtOH. Образуется из цитидина дезаминированием азотистой кисл.

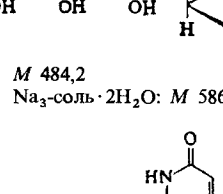
Уридии-5′-трифосфат (UTP)



M 484,2
Na_3-соль · $2H_2O$: *M* 586,2

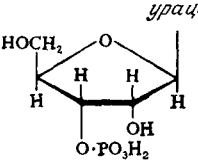
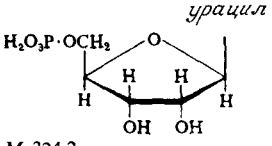
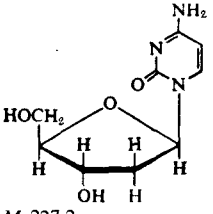
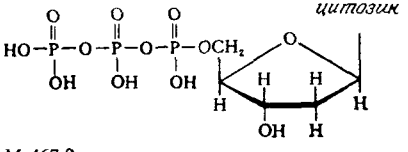
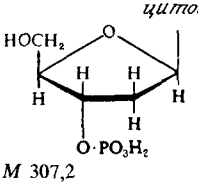
pK_a ~1; 6,6; 9,6. 67% общего содержания фосфора освобождается в виде P_i за 15 мин в 0,05 М H_2SO_4 при 100 °С. 2′-Дезокси-UTP: синт. из 2′-dUMP; *M* 468,2; K_3-соль + $5H_2O$: *M* 672,6.

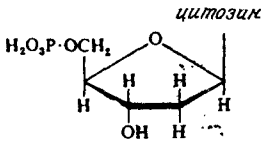
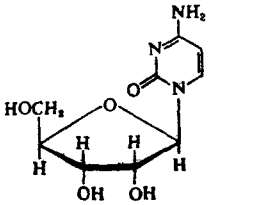
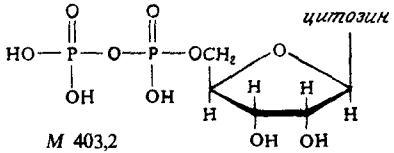
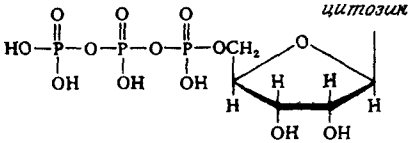
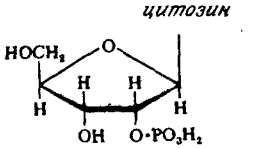
Уридин-2′-фосфат (2′-UMP; 2′-уридиловая кислота)

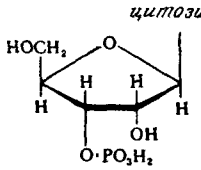
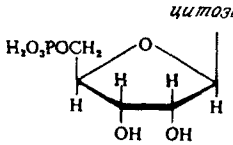
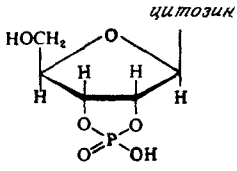
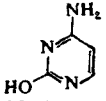


M 324,2

pK_a 1,0; 5,9; 9,4 для равновесной смеси 2′ и 3′. Раств-сть: х.р. H_2O. 40,7% общего содержания фосфора освобождается в виде P_i за 30 ч при 100 °С в 0,05 М H_2SO_4. В 1 М HCl при 100 °С за 1 ч разл. 5%. Немиого более щелочелабилен, чем 5′-изомер, однако уст. в 0,3 М KOH при 37 °С в течение 16 ч и выделяется из РНК вместе с 3′-изомером в этих усл.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Уридин-3′-фосфат (3′-UMP; 3′-уридиловая кислота)	*урацил*  *M* 324,2 Li_2-соль·$2H_2O$: *M* 372,1	pK_a 1,0; 5,9; 9,4 (для равновесной смеси 2′ и 3′). Раств-сть: р. H_2O. Гидрол. в 10%-ной H_2SO_4 до урацила. В 1 М HCl при 100 °C за 1 ч разл. 5%. 81% общего содержания фосфора освобождается в виде P_i через 30 ч в 0,05 М H_2SO_4 при 100 °C. Уст. в 0,3 М KOH при 37 °C в течение 16 ч и в этих усл. выделяется из РНК вместе с 2′-изомером.
Уридин-5′-фосфат (5′-UMP; 5′-уридиловая кислота)	*урацил*  *M* 324,2 Na_2-соль·$2H_2O$: *M* 404,2	pK_a 1; 6,4; 9,4.
Семейство цитозина		
2′-Дезоксицитидин (цитозиндезоксирибозид; 3-β-D-2′-дезоксирибофуранозилцитозин)	 *M* 227,2 Гидрохлорид (·HCl): *M* 263,7	pK_a 4,2; >13.
2′-Дезоксицитидин-5′-трифосфат (цитозиндезоксирибозо-5′-трифосфат; dCTP)	*цитозин*  *M* 467,2 Na_4-соль·$2H_2O$: *M* 591,2	
2′-Дезоксицитидин-3′-фосфат (цитозиндезоксирибозо-3′-фосфат; 3′-дезоксицитидиловая кислота)	*цитозин*  *M* 307,2 $(NH_4)_2$-соль·H_2O: *M* 359,3 Гидрат (·H_2O): *M* 325,2	Кол-венно выделяется из ДНК фосфодиэстеразой из *Micrococcus pyogenes* и селезенки теленка [JBC **236**, 864 (1961)]. Диэстераза из *Lactobacillus acidophilus* высвобождает 3′-фосфаты из олигодезоксирибонуклеотидов [JBC **238**, 2789 (1963)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие даиные
2′-Дезоксицитидии-5′-фосфат (цитозиндезоксирибозо-5′-фосфат; dCMP)	 *M* 307,2 Гидрт (·H_2O): *M* 325,2	pK_a 4,6; 6,6; 13,2. Высвобождается при нагрев. из ДНК фосфодиэстеразой *E. coli* [JBC **235**, 1479 (1960)] или (кол-венио) панкреатической ДНКазой с последующей обработкой диэстеразой змеиного яда.
Цитидии (цитозиирибозид; 3-β-D-рибофураиозилцитозин)	 *M* 243,2	pK_a 4,2; ~12,3.
Цитидин-5′-дифосфат (CDP)	 *M* 403,2 Na_2-соль·1,5H_2O: *M* 474,2	pK_a 4,6; 6,4. 50% общего содержания фосфора освобождается в виде P_i за 15 мин при 100 °C в 0,5 M H_2SO_4.
Цитидин-5′-трифосфат (CTP)	 *M* 483,2 Na_2-соль·2H_2O: *M* 563,2	pK_a 4,8; 6,6.
Цитидии-2′-фосфат (2′-цитидиловая кислота; 2′-CMP)	 *M* 323,2 NH_4-соль·H_2O: *M* 358,2	pK_a 4,3, (4,4); 6,2. В 1 M HCl при 100 °C за 1 ч только 5% разл. до иуклеозида. Некоторое дезаминирование до уридиловой кислоты наблюдается в 1 M NaOH при 37 °C за 16 ч.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Цитидин-3′-фосфат (3′-цитидиловая кислота; 3′-CMP)	 *M* 323,2 Li_2-соль · $2H_2O$: *M* 371,1	pK_a 4,2 (4,3); 6,0. В 1 М HCl при 100 °С за 1 ч только 5% разл. до иуклеозида. В 1 М NaOH при 37 °С за 16 ч наблюдается некоторое дезаминирование до уридиловой кисл.
Цитидин-5′-фосфат (5′-цитидиловая кислота; 5′-CMP)	 *M* 323,2 Na_2-соль · $2H_2O$: *M* 403,2	pK_a 4,4; 6,3.
Цитидин-2′,3′-циклофосфат (2′,3′-цикло-CMP; 2′,3′-cCMP)	 *M* 305,2 $Ba_{0,5}$-соль · $2H_2O$: *M* 408,9	Получается в качестве промежуточного продукта при гидрол. РНК панкреатической рибонуклеазой и разб. щелочью. Легко превращается в 3′-фосфат панкреатической рибоиуклеазой и в смесь 2′- и 3′-фосфатов разб. кисл. и щел.
Цитозин (4-амино-2-гидроксипиримидин)	 *M* 111,1 Гидрат (· $0,5H_2O$): *M* 120,1	pK_a 4,4; 12,2. Раств-сть: $0,77^{25}$ H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф. Кристаллизационная H_2O удаляется при 100 °С.

5. Спектральные данные и pK_a для пуринов, пиримидинов, нуклеозидов и нуклеотидов

Используемая литература

1. 2-е изд. этой книги, разд. 7, 2. Handbook of biochemistry and molecular biology, 3d ed.; Nucleic Acids, Volume 1, G.D. Fasman (ed.), CRC Press, 1975; 3. Schwarz/Mann, Biochemical catalogue 1973/1974; 4. P–L Biochemical Inc., Catalogue, 1977.

Оригинальная литература цитируется в первом и втором источниках.

pK_a и спектральные данные. pK_a в интервале 0–2 обычно имеют первичные фосфатные группы, 3–5–аминогруппы, а 6–7–вторичные фосфатные группы. Енольные гидроксильные группы в зависимости от соединения титруются в интервале pH 5–14. Не всегда (не для каждого соединения) указаны pK_a всех титрующихся групп. В частности, не всегда охарактеризована диссоциация сахаров ($pK_a \sim 13$). Для некоторых соединений приведенные pK_a могут отличаться от указанных в литературе более чем на $\pm$ 0,1 ед. pH, значения λ_{max} и λ_{min}–иногда более чем на $\pm$ 1 нм, значения ε_{max}–более чем на $\pm$ 5%, а отношение оптических плотностей–более чем на $\pm$ 10% [2].

Нумерация атомов в пуриновых и пиримидиновых кольцах. См. пояснения к разд. 4.

Соединение	pH	ε_{260}	λ_{max}, нм	ε_{max}	λ_{min}, нм	ε_{min}	A_{250}/A_{260}	A_{280}/A_{260}	pK_a	
									основания	фосфатной группы
Семейство аденина										
Аденин	1	13000	262,5	13200	229	2550	0,76	0,38	< 1	
	7	13300	260,5	13400	226	2550	0,76	0,13	4,1	
	12	10500	269	12300	237	3350	0,57	0,60	9,8	
N^6, N^6-Диметиладенин	1		277	15600	236		0,57	1,36	< 1,0	
	7		275	17800					3,9	
	13		281	17800	245		0,53	2,61	10,5	
1-Метиладенин	4		259	11700	228		0,80	0,23	7,2	
	9		270	11900	242		0,52	0,87	11,0	
	13		270	14400	239		0,55	0,85		
2-Метиладенин	1		266	12900	229	3300	0,79	0,56	~ 5,1	
	7		263	12700	226		0,89	0,16		
	13		271	10700	238	3700	0,61	0,84		
N^6-Метиладенин	1		267	15300	232	2700	0,64	0,70	< 1	
	7		266	16200	231		0,55	0,55	4,2	
	13		273	15900	239	3600	0,55	1,19	10,0	
7-Метиладенин	1		273	14000	237		0,60	1,06	4,2	
	12		270	10600	231		0,70	0,80		
Аденозин	1	14300	257	14600	230	3500	0,84	0,22	3,5	
	6	14900	260	14900	227	2300	0,78	0,14	12,5	
	11	14900	259	15400	227	2300	0,79	0,15		
Аденозин-5′-дифосфат	2	14500	257	15000	230		0,85	0,21	3,9	6,1–6,7
	7	15400	259	15400	227		0,78	0,16		
	11	15400	259	15400	227		0,78	0,15		
Аденозин-5′-трифосфат	2	14300	257	14700	230	3500	0,85	0,22	4,1	6,0–7,0
	7	15400	259	15400	227	2500	0,80	0,15		
	11	15400	259	15400	227	2500	0,80	0,15		
Аденозин-2′-фосфат	2	14500	257	15000	229	3200	0,85	0,23	3,8	6,2
	7	15300	259	15400				0,15		
	12	15300	259	15400			0,80	0,15		

Соединение	pH	ε_{260}	λ_{max}, нм	ε_{max}	λ_{min}, нм	ε_{min}	A_{250}/A_{260}	A_{280}/A_{260}	pK_a	
									основания	фосфатной группы
Аденозин-3′-фосфат	1	14500	257	15100	230		0,85	0,22	3,7	5,9
	7	15300	259	15400			0,80	0,15		
	13	15300	259	15400	227		0,78	0,22		
Аденозин-5′-фосфат	2	14500	257	15000	230	3500	0,84	0,22	3,8	6,2–6,4
	7	15300	259	15400	227	2600	0,79	0,16		
	11	15300	259	15400	227	2600	0,79	0,15		
2′-Дезоксиаденозин	2		258	14500	228		0,83	0,24	3,8	
	7		260	15200	225		0,79	0,15		
	13		261	14900						
2′-Дезоксиаденозин-3′-фосфат	7		259	1500			0,79	0,14		
2′-Дезиксиаденозин-5′-фосфат	2	14700	258	15000	228	3000	0,81	0,22	4,4	6,4
	7	15300	259	15200	226	2500	0,80	0,15		
2′-Дезоксиаденозин-5′-трифосфат	2	14500	258	14800	228	3000	0,81	0,22	4,8	6,8
	7	15300	259	15400	226	2500	0,78	0,15		
	12	15400	260	15400	226	2600	0,79	0,15		
N^6,N^6-Диметиладенозин	1		268	18400	234		0,60	0,94	4,5	
	7		275	18800	236		0,46	1,54		
	13		276	19200	237		0,37	1,68		
1-Метиладенозин	2		258	13700	232		0,81	0,23	8,8	
	7		258	13900	232		0,81	0,23		
	10,5		259	14600	231		0,76	0,35		
2-Метиладенозин	1		258	14000	230		0,84	0,40		
	6		264	14500	228		0,75	0,17		
	13		263	15200	230		0,75	0,17		
N^6-метиладенозин	1		262	16600	231		0,66	0,41	4,0	
	7		266	15900	229		0,57	0,68		
	13		266	15900	232		0,57	0,68		

Семейство гипоксантина										
Гипоксантин	0	7 400	248	10800	215	1700	1,45	0,04	2,0	
	6	7 900	249,5	10700	222	2600	1,32	0,09	8,9	
	11	11 000	259	11100	232	3800	0,84	0,12	12,1	
2′-Дезоксиинозин-5′-фосфат	7		249	12200			1,68	0,25		
2′-Дезоксиинозин-5′-трифосфат	6		269	12200			1,68	0,25		
Инозин	3	7100	248	12200	223	7100	1,68	0,25	1,2	
	6	7100	248,5	12300	223	3400	1,68	0,25	8,8	
	11	11700	253	13100	224,5	2600	1,05	0,18	12,0	
Инозин-5′-дифосфат	6		248,5	12200			1,68	0,25		
Инозин-3′(2′)-фосфат	5		248		222		1,59	0,29		
Инозин-5′-фосфат	0,1	9000	251	10900			1,21	0,11	8,9	1,5
	6	7200	248,5	12200	223	3400	1,69	0,25		6,0
	12	11500	253	12900	224	2700	1,10	0,24		
Группа гуанина										
Гуанин	1	8000	248	11400	224		1,37	0,84	3,2	
			276	7350	267	7150				
	7	7200	246	10700	225		1,42	1,04	9,6	
			276	8150	262	7050				
	11	6400	274	8000	255	6050	0,99	1,14	12,4	
N^2,N^2-Диметилгуанин	1		256	19000	233		0,92	0,37		
	7		250	17000	229		1,20	0,62		
			283	9300						
	12		282	9200	265		1,15	1,05		
1-Метилгуанин	1		250	10200	227					
			272	7100	—		1,28	0,81	~0	
	7		248	10000	227					
			272	7900	264		1,24	0,93	3,1	
	13		277	8700	241		0,80	1,19	10,5	

Соединение	pH	ε_{260}	λ_{max}, нм	ε_{max}	λ_{min}, нм	ε_{min}	A_{250}/A_{260}	A_{280}/A_{260}	pK_a основания	pK_a фосфатной группы
N^2-Метилгуанин	1		250 279	13900 6200	228	6600	1,34	0,64	3,3	
	7		249 277	14100 8300	227 266		1,18	0,72	8,9	
	11		244 278	9500 7200	263	6100			12,8	
7-Метилгуанин	1		250 272	10600 6900	228 268	4700 7300	1,30	0,79	~0	
	7		248 283	5700 7400	235 261	5500 3900	1,46	1,87	3,5	
	12		280	7400	257		1,13	1,89	9,9	
Гуанозин	0,7		256	12300	228		0,94	0,70	1,6	
	6		253	13600	223		1,15	0,67	9,2	
	11,3		256–266	11300	230		0,89	0,61		
Гуанозин-5′-дифосфат	1	11800	256	12300	228		0,95	0,67	2,9	6,3
	7	11800	253	13700	224		1,15	0,66	9,6	
	11	11700	258	11700	230		0,91	0,61		
Гуанозин-5′-трифосфат	1	11800	256	12400	228		0,96	0,67	3,3	6,5
	7	11700	253	13700	223		1,17	0,66	9,3	
	11	11800	257	11900	230		0,92	0,59		
Гуанозин-3′-фосфат	1	11800	257	12200	228		0,93	0,69	2,3	5,9
	7	11400	252	13400	227		1,15	0,68	9,7	
	10,8	11200	257	11300	230		0,92	0,64		
Гуанозин-5′-фосфат	1	11600	256	12200	228		0,96	0,67	2,4	6,1
	7	11700	252	13700	224		1,16	0,66	9,4	
	11	11500	258	11600	230		0,90	0,61		
2′-Дезоксигуанозин	1	11300	255	12100	232		1,00	0,69	2,5	
	H_2O	11800	253	13000	223	2000	1,16	0,68		
	12		260	9200	230	2200	0,87	0,61		

2′-Дезоксигуанозин-5′-трифосфат	1	11700	255	12300	227	2400	1,01	0,71	3,5	6,5
	7	11900	252	13700	222	2700	1,16	0,66	9,7	
	12	11700	262	11700	230	4000	0,93	0,60		
2′-Дезоксигуанозин-3′-фосфат	7		253	13700			1,15	0,67		
2′-Дезоксигуанозин-5′-фосфат	1	11500	255	11800	227	2700	1,01	0,71	2,9	6,4
	7	11800	253	13700	222	2700	1,15	0,67	9,7	
	12	11500	262	11500	230	4000	0,91	0,62		
N^2,N^2-Диметилгуанозин	1		265	17700	236		0,63	0,56	2,5	
	7		260	18900	228		0,78	0,57	9,7	
	13		263	14300	242		0,85	0,78		
7-Метилгуанозин	3		257	10700	230		0,88	0,68	7,0	
	7		258	8500	238	5500				
			281	7400			0,89	1,04		
	9		282	8000	242		0,90	1,46		
7-Метилгуанозин-5′-трифосфат	2		257	11700	230		0,92	0,66	7,5	
	7,4		258	9800	236					
			280	8000	271					
	12		281	8600	243					
7-Метилгуанозин-5′-фосфат	2		257	12000	230					
	7,4		258	10300	236				7,1	
			280	8600	271					
	8,9		282		242		0,93	1,43		
N^2,N^2,7-Триметилгуанозин	1		266		240		0,57	0,59		
			295							
	5		266	10300	239		0,57	0,63		
	10		234		280		1,31	0,62		
			302							
Семейство ксантина	2	8900	267	10300	242		0,77	0,15	~ 0,8	
Ксантин	6	8900	267	10300	239		0,57	0,61	7,5	
	10	5200	240	8900	222					
			277	9300	257		1,30	1,71	11,1	
	2	8700	235	8400	217					
Ксантозин			263	8950	248		0,75	0,28	2,5	
	8	7700	248	10200	223					
			278	8900	264		1,30	1,13	7,0	
	11	7700	248	10200	222					
			278	8900	264		1,30	1,13	~ 13	

Соединение	pH	ε_{260}	λ_{max}, нм	ε_{max}	λ_{min}, нм	ε_{min}	A_{250}/A_{260}	A_{280}/A_{260}	pK_a	
									основания	фосфатной группы
Ксантозин-5′-трифосфат	10		278	8900			1,30	1,13		
Ксантозин-5′-фосфат	10		278	8900			1,30	1,13		
Семейство оротовой кислоты										
Оротидин	1		267	9800	234		0,66	0,81		
	13		266	7800	245		0,83	0,71		
Оротидин-5′-фосфат	7		266					0,66		
Оротовая кислота	1	4200	280	7500	241	900	0,54	1,82	2,4	
	7	4500	279	7700	241		0,57	1,71	9,5	
	12	3400	240	8900	222		0,80	1,71	< 13,0	
			286	6000	244	3400				
Семейство тимина										
Тимин	4	7400	264,5	7900	233	1900	0,67	0,53	9,9	
	7	7400	264,5	7900	233	1900	0,67	0,53	> 13,0	
	12	3700	291	5400	244	2200	0,65	1,31		
2′-Дезокситимидин	1	8800	267	9650	235	2200	0,65	0,70	9,8	
	7	8800	267	9700	235	2200	0,65	0,70	> 13,0	
	12	6650	267	7400	241	4600	0,74	0,65		
2′-Дезокситимидин-5′-трифосфат	2	9300	267	9600			0,63	0,71		
	7	9300	267	9600			0,65	0,73		
2′-Дезокситимидин-3′-фосфат	2							0,69		
	7		267	9500			0,65	0,71		
2′-Дезокситимидин-5′-фосфат	2	9300	267	9600	233	2300	0,63	0,71	10,0	~ 1,6
	7	9300	267	9600	234	2400	0,65	0,73		6,5
	12	7500	267	7800	243	4500	0,67	0,67		

Семейство урацила

Урацил	4	8200	259,5	8200	227	1800	0,84	0,17	9,5
	7	8200	259,5	8200	227	1800	0,84	0,17	> 13,0
	12	4100	284	6200	241	2100	0,71	1,40	
5-Гидроксиурацил	2		278	6400	244		0,56	1,63	8,0
	6		278	6400	244		0,54	1,55	
	12		239	6500					
			305	5700	270		1,65	0,83	
5-Гидроксиметилурацил	2		261	8000	231		0,77	0,32	9,4
	7		261	8100	231		0,77	0,33	~ 14
	12		286	7400	245		0,67	1,80	
2-Тиоурацил	1,5		270	13900	241				
	7,4		268	11800	240				
	11		259	10700	243				
			307	6800	291				
Уридин	1	10000	262	10100	230	2000	0,74	0,35	9,2
	7	10000	262	10100	230	2000	0,74	0,35	12,5
	12	7400	262	7500	243	4500	0,83	0,29	
5-Гидроксиметил-2′-дезоксиуридин	2		264	9600	233		0,70	0,51	
	7		264	9600	233		0,70	0,51	
	12		264	7000	243		0,75	0,54	
5-Гидроксиметил-2′-дезоксиуридин-5′-фосфат	2		264	10200	234		0,69	0,56	
	12		264		244		0,80	0,48	
2′-Дезоксиуридин	1	10100	262	10200	231	2200	0,74	0,32	9,3
	7	10100	262	10200	231	2200	0,74	0,32	> 13
	12	7550	262	7600	242	5400	0,81	0,27	
2′-Дезоксиуридин-5′-трифосфат	1		262				0,72	0,45	
2′-Дезоксиуридин-5′-фосфат	2		260	9800	231				
	7		260		230		0,72	0,38	
	12		261	7600	241				
5,6-Дигидроуридин	H_2O		208	6600					
	13		235	10100					
Псевдоуридин (5-рибозилурацил)	2	7700	262	7800	233	2000	0,74	0,42	9,0
	7	7700	263	8100	233	2000	0,74	0,44	> 13,0
	12	3400	286	7700	245	1700	0,62	2,06	

Соединение	pH	ε_{260}	λ_{max}, нм	ε_{max}	λ_{min}, нм	ε_{min}	A_{250}/A_{260}	A_{280}/A_{260}	pK_a	
									основания	фосфатной группы
Псевдоуридин-3′-фосфат	2	8300	263	8400	233	2300	0,75	0,40	9,6	
	7		263		233		0,74	0,40		
	12	3700	286	8400	246	2100	0,64	2,06		
5-Метилуридин	1		267	9900	235		0,67	0,74	9,7	
	7		267	9800	236		0,67	0,74		
	13		268	7500	246		0,83	0,75		
2-Тиоуридин	2		279	16400	247		0,53	1,86	8,8	
	7		218	16200						
			275	13600	247		0,62	1,57		
	12		239	21000						
			271	13400						
4-Тиоуридин	2		245	5200	275				8,2	
			331	17000						
	6,5		245	4000	225					
			331	21200	274					
	12		316	19700	268					
Уридин-5′-дифосфат	2	9900	262	10000	230		0,73	0,39	9,4	6,5
	7	9900	262	10000	230		0,73	0,39		
	11	7800	261	7900	241		0,80	0,32		
Уридин-5′-трифосфат	2	9900	262	10000	230		0,75	0,38	9,6	6,6
	7	9900	262	10000	230		0,75	0,38		
	11	8000	261	8100	239		0,81	0,31		
				9900						
Уридин-2′-фосфат	2		260	10000	230		0,8	0,28		
	7		260	7300	230		0,78	0,30		
	12		261		242		0,85	0,25		
Уридин-3′-фосфат	1	9900	262	10000	230	2000	0,76	0,32	9,4	1,0
	7	9900	262	10000	230	2000	0,73	0,35		5,9
	13	7300	261	7800	241	5400	0,83	0,28		
Уридин-5′-фосфат	2	9900	262	10000	230		0,73	0,39	9,5	6,4
	7	9900	262	10000	230		0,73	0,39		
	11	7700	261	7800	241		0,80	0,31		

Семейство цитозина

Цитозин	1	6000	276	10000	239		0,48	1,53	4,6	
	7	2600	267	6100	247		0,78	0,58	12,2	
	14	2400	282	7900	251		0,60	3,28		
5-Гидроксиметилцитозин	1	4900	279	9700	241		0,45	1,97	4,3	
	7	4900	269	5700	251		0,80	0,80	~ 13	
	13	2400	283	7600	254		0,83	2,98		
N^4-Метилцитозин	1		277	10500	240		0,50	1,66	4,5	
	7		267	7200	248		0,79	0,66	12,7	
	14		286	8000	256		0,96	3,27		
5-Метилцитозин	1	3600	283	9800	242		0,40	2,62	4,6	
	7	4500	273	6200	252		0,80	1,21	12,4	
	14	1700	289	8100	254		0,84	3,64		
Цитидин	1	6400	280	13400	242		0,45	2,10	4,2	
	7	7550	229,5	8300	226		0,86	0,93	12,5	
			271	9100	250					
	13		273	9200	251		0,87	1,02		
5-Гидроксиметил-2′-дезоксицитидин	1		283	12600	243		0,64	2,47	3,5	
	7		272		247		0,97	1,17		
	13		274		252		0,97	1,17		
5-Гидроксиметил-2′-дезоксицитидин-5′-фосфат	1		284	12 500	245		0,44	2,68		
	7	6100	275	7 700	254		0,90	1,33		
	12	6100	275	7 700	254		0,93	1,31		
2′-Дезоксицитидин	1	6200	280	13200	241		0,42	2,15	4,3	
	7	7400	271	9000	250		0,83	0,97		
	11	7400	271	9000	250		0,83	0,97		
2′-Дезоксицитидин-5′-трифосфат	2	6200	280	13100			0,44	2,14		
	7	7400	272	9100			0,82	0,98		
2′-Дезоксицитидин-3′-фосфат	2		280	13100			0,44	2,1		
	7						0,84	0,93		
2′-Дезоксицитидин-5′-фосфат	2	6300	280	13500	239	1500	0,43	2,12	4,5	6,6
	7	7400	271	9300	249	6000	0,82	0,99	13,2	
	12	7400	271	9000	250	6100	0,82	0,99		

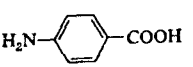
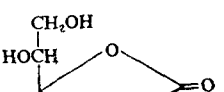
Соединение	pH	ε_{260}	λ_{max}, нм	ε_{max}	λ_{min}, нм	ε_{min}	A_{250}/A_{260}	A_{280}/A_{260}	pK_a	
									основания	фосфатной группы
5-Метил-2′-дезоксицитидин	1	3200	287	12400	245		0,42	2,93	4,4	
	7	6000	277	8500	255		1,00	1,54	> 13,0	
	14	5300	279	8800	255		0,98	1,67		
5-Метил-2′-дезоксицитидин-5′-фосфат	2		287		244		0,36	3,14	4,4	
	7		278		254		0,95	1,52		
	12		278							
5-Метилцитидин	0		287	12600	245		0,33	3,59	4,3	
	7		277	8900	255		1,03	1,45	> 13	
	14		279	9000	256		1,05	1,58		
2-Тиоцитидин	0		229	17000	213		0,86	1,30		
			276	17400	250					
	7		249	22300	220		1,08	0,50		
	13		252		229		1,04	0,72		
Цитидин-5′-дифосфат	2	6200	280	12800	241		0,46	2,07	4,6	6,4
	7	7400	271	9100	249		0,83	0,98		
	11	7400	271	9100	249		0,83	0,98		
Цитидин-5′-трифосфат	2	6000	280	12800	241		0,45	2,12	4,8	6,6
	7	7400	271	9000	249		0,84	0,97		
	11	7400	271	9000	249		0,84	0,97		
Цитидин-2′-фосфат	2	6900	278	12700	240		0,48	1,80	4,4	6,2
	7	7800	272	8600	250		0,90	0,85		
	12	7800	272	8600	250		0,90	0,85		
Цитидин-3′-фосфат	2	6600	279	13000	240		0,45	2,00	4,3	6,0
	7	7600	270	9000	250		0,86	0,93		
	12	7600	272	8900	250		0,86	0,93		
Цитидин-5′-фосфат	2	6300	280	13200	241		0,44	2,09	4,5	6,3
	7	7400	271	9100	249		0,84	0,98		
	11	7400	271	9100	249		0,84	0,98		

6. Витамины и коферменты

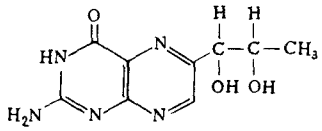
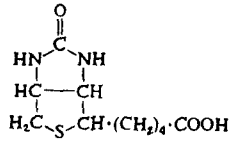
Литература (общие источники)

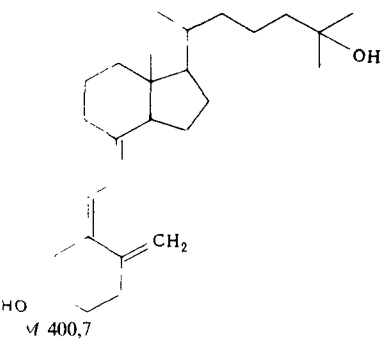
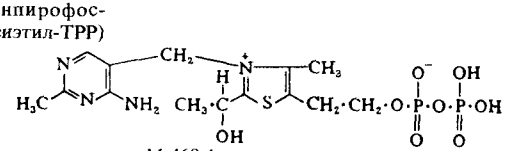
Sebrell W. H., Harris R. S. (eds.), The vitamins: chemistry, physiology, pathology, methods, 2nd edition, vols. 1–3 and 5–7 (vol. 4 has not been published), Academic Press (1967–72).
Boyer P. D., Lardy H., Myrbäck K. (eds.), The enzymes, 2nd edition, vols. 2 and 3, Academic Press (1960).
Morton R. A. (ed.), Fat soluble vitamins, Pergamon (1970).
Wagner A. F., Folkers K., Vitamins and coenzymes, Interscience (1964).
Vitamins and Hormones, Academic Press, a review serial published annually; vol. **1** (1943), vol. **40** (1983).
Methods in enzymology, Academic Press. Статьи, посвященные витаминам и коферментам в томах: **18A** (1971), **18B** (1971), **18C** (1971), **62** (1980), **66** (1980), **67** (1980).

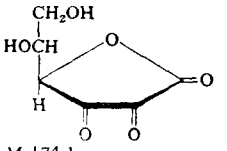
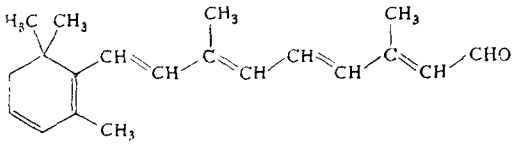
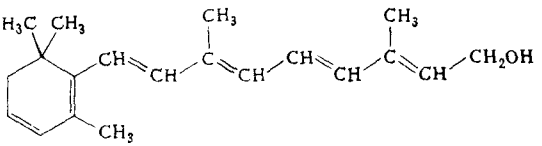
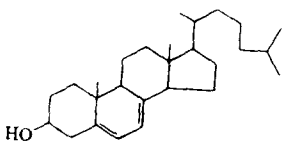
Номенклатура. Правила (в том числе временные) и рекомендации по номенклатуре витаминов и коферментов опубликованы в работах:
тривиальные названия – BJ **102**, 15 (1967); JBC **241**, 2987 (1966);
соединения фолиевой кислоты – BJ **102**, 19 (1967); JBC **241**, 2991 (1966);
соединения витамина B_6 – BJ **137**, 417 (1974); Biochem. **13**, 1056 (1974);
корриноиды – BJ **147**, 1 (1975); Biochem. **13**, 1555 (1974);
токоферолы – EJB **123**, 473 (1982);
циклитолы – BJ **153**, 23 (1976); EJB **57**, 1 (1975);
витамин D – EJB **124**, 223 (1982);
ретиноиды: EJB **129**, 1 (1982);
хиноны с изопреноидными боковыми цепями – BJ **147**, 15 (1975); EJB **53**, 15 (1975);
никотинамиднуклеотидные коферменты: I. U. B. Enzyme Nomenclature – Recommendations (1964), Elsevier, 1965.

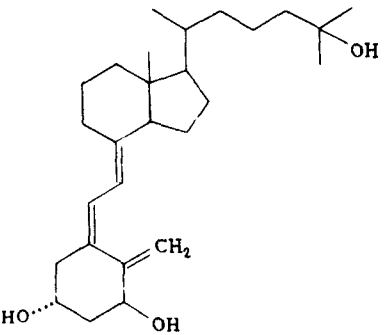
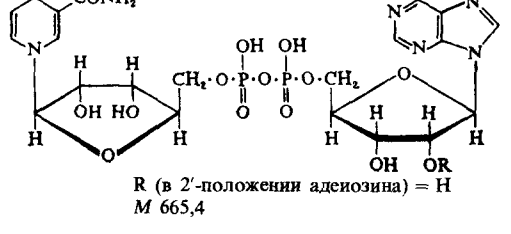
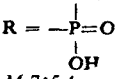
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
n-Аминобензойная кислота (ПАБК)	 *M* 137,1	Бел. монокл. крист.; желтеет на возд. и на свету. $t_{пл}$ 187. pK_a 2,38; 4,89. Раств-сть: $0{,}5^{25}$, х. р.^{100} H_2O; 11 EtOH; 8 эф.; р. MeOH, $CHCl_3$, лед. укс. кисл., м. р. бенз.; н. р. петр. эф. Спектр в H_2O λ_{max} 266 нм, ε 15000. Конкурентно противодействует сульфаниламидному бактериостазу. Легко усваивается организмом человека при приеме перорально и экскретируется в виде *n*-аминогиппурата и отчасти в виде глюкуроната. Уст. в тв. состоянии и в раств.
Аскорбиновая кислота (L-аскорбиновая кислота; витамин C)	 *M* 176,1	Бел. крист.; резкий кислый вкус. $t_{пл}$ 192 (разл.) pK_a 4,04; 11,34. E'_0 + 0,058 В (1-я стадия pH 7). $[\alpha]_D^{20}$ + 23 (c = 1 в H_2O). Раств-сть: 33,3 H_2O; 2 EtOH; н. р. эф., $CHCl_3$, бенз., петр. эф. Спектр: в H_2O или нейтр. раств. λ_{max} 265 нм, ε 7000; в кислоте λ_{max} 245 нм, ε 7500 [JCS **1933**, 1270]. Уст. в тв. состоянии. Водн. раств. имеют pH ~ 3; действует как моноосновная кисл. Мощный восстановитель; восстанавливает жидк.

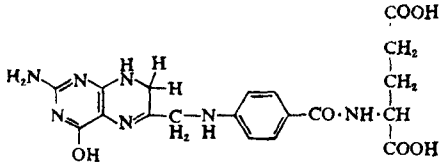
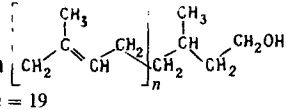
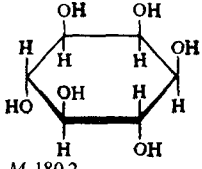
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		Фелиига на хол., легко окисл. многими окислителями. Водн. раств. уст. только в отсутствие O_2. На возд. водн. раств. уст. при pH 5 ÷ 6; о. неуст. при щел. pH; окисл. катализируют Cu и Fe (Cu > Fe). Использ. как донор H в биол. системах при изучении электронного транспорта и для защиты др. легко окисляющихся в-в, напр. тетрагидроптероилглутамата.
Ацетилкофермент А (ацетилкоэнзим А; ацетил-CoA; ацетил-S-CoA)	*См.* Кофермент А: группа—SH замещена на $—SCOCH_3$ *M* 809,6	Бел. порошок. Раств-сть: р. H_2O. Спектр: λ_{max} 260 нм, ε 16400; ε_{232} 8700; $\Delta\varepsilon_{232}$ при гидролизе 4500. Устойчивость: *см.* Ацильные соединения кофермента А. Можно нагрев. без разл. до 100° С 15 мин при pH 3,5–5. Li_3-соль; уст.; хранить в сухом виде при 4° С; заметно не разл. 6 мес. Получ. см. [JACS **75**, 2520 (1953); Meth. Enzymol. **3**, 931 (1957)]. *См. также* Ацильные соединения кофермента А.
Ацильные соединения кофермента А (S-ацилкоэнзим А; ацил-CoA; S-ацил-CoA; S-ацилкофермент А)	*См.* Кофермент А: группа —SH замещена на —SCOR *M* 749,5 + $M_{ацилирующей\ RCOOH}$ или 794,5 + M_R	Гигр. аморф. бел. тв. в-во. Раств-сть: р. H_2O, раств-сть уменьш. с увелич. длины углеродной цепи ацильной гр. Ацил-CoA-производные длинноцепочечных жирных кисл., осаждаются из водн. раств. кисл. Спектр: для большинства ацил-CoA λ_{max} ~260 нм, ε 16400 (наличие аденина); а также λ_{max} 232 нм, ε ~9000 (наличие тиоэфирной связи). При гидрол. тиоэфирной связи поглощение при 232 нм уменьш. ($\Delta\varepsilon_{232}$ 4500). α,β-Ненасыщенный ацил-CoA: двойная связь смещает максимум поглощения тиоэфирной группы к 263 нм, где он накладывается на спектр поглощения аденина при 260 нм (λ_{max} 225, ε 16300; λ_{max} 260 нм, ε 22600); при гидролизе тиоэфирной связи $\Delta\varepsilon_{225}$ 8400, $\Delta\varepsilon_{263}$ 6700. β-Оксоацил-CoA; енолят-ион стабилизируется при pH > 8 в присутствии Mg^{2+} и дает λ_{max} 260, ε(C_4) 16000; λ_{max} 303 нм ε(C_4) 21400; ε(C_{16}) 9900 [Meth. Enzymol. **71**. 398 (1981)]. *См. также* ацетилкофермент А, малонилкофермент А, сукцинилкофермент А. В виде сухого тв. в-ва можно хранить без разл. при 0° С в эксикаторе длительное время. Обычно уст. в нейтр. или умеренно кисл. растворах даже при повышенной темп.; гидрол. в сильн. кисл. (Сукцинил-CoA необычно лабилен при нейтр. pH.) Быстро гидрол. в щел. растворах; α, β-неиас. ацильные соединения более уст, чем нас., причем β-гидроксиацильные немного более лабильны. Неуст. в щел. увел. с уменьш. pK_a кисл. Кол-венно реагирует с нейтр.

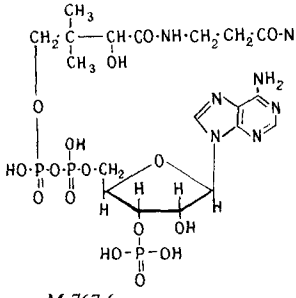
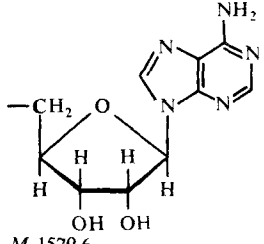
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		NH_2OH, образуя ацилгидроксамовую кисл. β-Оксоацильные соединения образуют изоксазолоны. Общие методы получ. см. [JACS **75**, 2520 (1953); Meth. Enzymol. **3**, 931 (1957); Biochem. Preps. 7 80 (1960); Angew. Chem. **65**, 186 (1953), BZ **335**, 540 (1962); JBC **236**, 2620 (1961)], спецнальные методы получ. ацетоацетил-CoA см. [Angew. Chem. **64**, 687 (1952), β-оксоацил-CoA [Anal. Biochem **1**, 8 (1961); BBA **164**, 498 (1968)]; см также малонил-CoA.
Биоптерин (2-амино-4-гидрокси-6-(L-*эритро*-1,2-дигидроксипропил) птеридин; 6-(L-*эритро*-1,2-дигидроксипропил) птерин)	 *M* 237.2	Желт. крист. $t_{разл}$ 250 ÷ 280. $[\alpha]_D^{25}$ −62 (c = 0,2 в 0,1 M HCl). pK_a 2,43; 7,7 Раств-сть: $0,07^{20}$, $0,4^{90}$ H_2O; о. п. р EtOH, эф.; р. кисл., щел. Спектр: при pH 1 λ_{max} 247 нм, (ε 11 700), 320 им (ε 8500); при pH 13 λ_{max} 254 нм, (ε 24 600) 363 нм (ε 8000); в H_2O λ_{max} 275 нм A_{272}/A_{252} 1,9 ÷ 2,1. 7,8-Дигидробиоптерин, спектр: λ_{max} 258 и 363 нм (в 0,1 M HCl); 280 и 330 им (pH 6,8 ÷ 13). ε_{330} 6200 (pH 6,8). 5, 6, 7, 8-Тетрагидробиоптерин, спектр: λ_{max} 265 нм (в 0,1 M HCl); 300 нм (pH 6,8). Природное в-во L-*эритро*-изомер. Голубая флуоресценция в щел. раств. Получ. см. [Meth. Enzymol. **18B**, 670 (1971); **66**, 508 (1980)]. 7,8-Дигидробиоптерин: фиолетовая флуоресценция; раств. при −20 °C уст. несколько мес,; получ. *см.* Дигидроптероилглутаминовая кислота, а также [Meth. Enzymol. **66**, 508 (1980)]. 5, 6, 7, 8-Тетрагидробиоптерин; быстро окисл. в раств., период полупревращения при 24 °C и pH 6,8 ~ 6 мин; хранить при −20 °C; получ. *см.* Тетрагидроптероилглутамат, а также [JBC **242**, 3934 (1967)].
Биотин (*d*-биотин; кофермент R; витамин H)	 *M* 244,3	Бел. иглы. $t_{пл}$ 232 ÷ 233; $[\alpha]_D^{22}$ +92 (c = 0,3 в 0,1 M NaOH). Раств-сть: $0,02^{25}$ H_2O; р. гор. H_2O + разб. щел.; $0,08^{25}$ 95%-ный EtOH; н. р. орг. раств-ли; Na-соль х. р. H_2O. Термостабилен в тв. состоянии. Уст. при 100 °C в умеренно кисл. или нейтр. водн. раств., кисл. раств. можно стерилизовать путем нагрев.; менее уст. при pH > 9. Инактивируется в комплексе с авидином. Биоцитин (ε-N-биотиноил-l лизин): крист.; р. H_2O, м. р. EtOH; полн. гидрол. в 1,5 M H_2SO_4, 120 °C, 1 ч; образует комплекс с авидином. Авидин: гликопротеин из яичного желтка; тетрамер; M 66000; х. р. H_2O; солевые раств. уст. в широком диапазоне pH и темп. Связывает биотин (4 моль/моль субъед.); связывание прак-

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		ически необратимо, за исключением экстремальных усл.; $K_{дис} \sim 10^{-15}$ М. Получ. см. [B.J **118**, 67, 71 (1970)]; см. обзор [Adv. Ptotein Chem., **29**, 85 (1975)].
Гидроксикобаламин, щелочной раствор (α-(5,6-диметилбензимидазолил)-гидроксикобамид; витамин B_{12b})	*См.* Цианокобаламин, где CN^- замещен на OH^- *M* 1346,4	Гигр. темно-красные крист. $[\alpha]_{6438}^{20}$ −19,5 ($c = 0{,}5$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH, EtOH; н. р. эф., ац., бенз. Спектр: λ_{max}, нм 278 325 358 516 535 ε 19 100 11 400 20 600 8900 9300 В водн. раств. гидрокси- и аквакобаламин взаимопревращаемы в результате присоединения/освобождения протона; pK_a 7,5. Чрезвычайно фотолабилен. Немного менее уст., чем цианокобаламин, *особ.* в щел. раств. Обработка цианидом при pH 10 дает дицианокобаламин (*см.* Цианокобаламин). Получ. см. [Biochem. Preps. **12**, 121 (1968)].
Аквокобаламин, кислый раствор (витамин B_{12a}; аквакобаламин)	*См.* Цианокобаламин, CN^- заменен на H_2O *M* 1347,4	Спектр (кислый раств.): λ_{max}, нм 274 317 351 499 525 ε 20 600 6100 26 500 8100 8600
25-Гидроксихолекальциферол (9,10-секохолестатриен-5,7,10(19)-диол-3 β, 25; 25-гидроксивитамин D_3; кальциндиол)	 *M* 400,7	Крист., $t_{пл}$ 82 ÷ 83. Раств-сть: н. р. H_2O; р. MeOH, EtOH, эф., $CHCl_3$. Спектр: λ_{max} 265 нм, ε 18 000. Чувствителен к свету, нагрев. и O_2. Раств. в EtOH уст. несколько нед., будучи защищен от света, в атмосфере N_2 при 0 °C. Получ. см. [Meth. Enzymol. **18C**, 709 (1971)].
Гидроксиэтилтиаминпирофосфат («активный ацетальдегид»; α-гидроксиэтил-2-тиаминпирофосфат; α-гидроксиэтил-ТРР)	 *M* 468,4	Гигр. бел. порошок. $[\alpha]_D^{23}$ −10 ($c = 1{,}5$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Спектр: при pH 1 ÷ 3 λ_{max} 247 (ε 9600) и 262 нм; в PO_4- буфере (pH 8) λ_{max} 229 (ε 9100) и 269 нм (ε 7500); λ_{min} 248 нм, ε 4450 (для ТРР ε_{248} 5900). Изобестическая точка (pH 2 ÷ 8) 272,5 нм. Синтетическое соединение – рацемическая смесь, в которой только один изомер энзиматически активен. Сухое тв. в-во можно хранить несколько нед. при −20 °C. Раств. ср. уст. при pH 3 ÷ 8, наиболее уст. при pH 7. Разл. в кисл. и особ. в щел. раств. Получ. см. [EJB **1**, 110 (1967); Meth. Enzymol. **18A**, 259 (1970); **9**, 65 (1966)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Дегидроаскорбиновая кислота (дегидро-L-аскорбиновая кислота; окисленная форма витамина С)	 *M* 174,1	Бел. иглы; $t_{пл}$ 228 ÷ 233. $[\alpha]_D^{20}$ +50 ($c = 1$ в H_2O); +56 ($c = 1$ в буфере фталат – HCl, pH 3,6). Раств-сть: р. гор. H_2O, основные орг. раств-ли; н. р. нейтр. орг. раств-ли. Спектр: нет селективного поглощения в УФ-свете. Водн. раств. гораздо менее уст., чем раств. аскорбиновой кисл. Водн. раств. имеют pH, близкие к нейтр. Получ. см. [JBC **176**, 529 (1948); JCS **1948**, 158; ZPC **351**, 52 (1970)].
3-Дегидроретиналь, полный *транс*-изомер (ретинен$_2$; ретиналь$_2$; 3-дегидроретинальдегид; альдегидная форма витамина A_2; 3,4-дидегидроретиналь)	 *M* 282,4	Оранж. крист. $t_{пл}$ 78 ÷ 79. Раств-сть: р. EtOH, $CHCl_3$, эф., циклогексан; н. р. H_2O. Спектр: в EtOH λ_{max} 401 нм, ε 41450; для комплекса с $SbCl_3$ в $CHCl_3$ λ_{max} 740 нм уменьш. до 705 нм; при 705 нм $A_{1\,см}^{1\%}$ 3720. Неуст. на возд. и в кисл.; менее уст., чем ретиналь и 3-дегидроретинол. Изомеризуется до *цис*-изомера под действием света.
3-Дегидроретинол, полный *транс*-изомер (витамин A_2; 3,4-дидегидроретинол)	 *M* 284,4	Масло. $t_{пл}$ 17 ÷ 19. Раств-сть: р. EtOH, $CHCl_3$, эф., циклогексан; н. р. H_2O. Спектр: в EtOH λ_{max}, нм 276 286 350 ε 15760 20300 41200 Комплекс с $SbCl_3$ в $CHCl_3$ λ_{max} 693 нм, $A_{1\,см}^{1\%}$ 4100. Более чувствителен к O_2, чем ретинол; крист. тв. в-во полн. окисл. на возд. при 0 °C за 1 ч. Чувствителен к свету и кисл.
7-Дегидрохолестерин (провитамин D_3; холестадиен-5,7-ол-3β; холеста-5,7-диен-3β-ол)	 *M* 384,6 Гидрат: *M* 402,7	Пластинки + 1 H_2O. $t_{пл}$ 150 ÷ 151. $[\alpha]_D^{20}$ −113,6 ($c = 1$ в $CHCl_3$). Раств-сть: р. эф. $CHCl_3$; м. р. MeOH; н. р. H_2O. Спектр: в EtOH λ_{max}, нм 262 271 282 293,5 ε 7700 11250 11900 6650 Кристаллизационная H_2O прочно удерживается. Окисл. на возд. Уст. либо в виде пасты, содержащей 17%, MeOH, либо при кристаллизации с холестерином, либо в виде 3,5-динитробензоата ($t_{пл}$ 210 ÷ 212). Комплекс с дигитонином нераств. При облучении УФ-светом образует холекальциферол (витамин D_3).

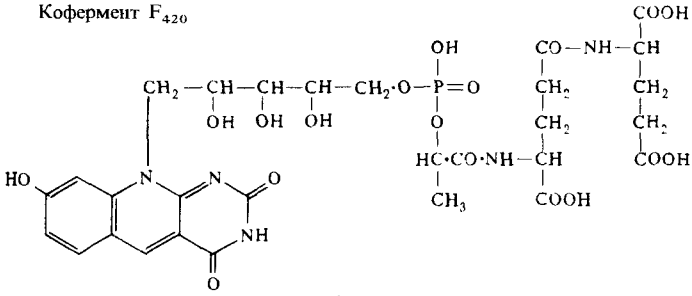
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
1 α, 25-Дигидроксихолекальциферол (9,10-секохолестатриен-5,7,10 (19)-триол-1 α, 3 β, 25; 1 α, 25-дигидроксивитамин D_3; кальцитриол)	 *M* 416,7	Крист. $t_{пл}$ 84 ÷ 88. $[\alpha]_D$ +29 (в эф.). Раств-сть: н. р. H_2O; р. MeOH, EtOH эф., $CHCl_3$. Спектр: в эфире λ_{max} 265 нм, ε 18 000; λ_{min} 229 нм, ε 10 100. Беречь от света, тепла и O_2
Дигидроникотинамидадениндинуклеотид (восстановленный никотинамидадениндинуклеотид; NADH; дигидродифосфопиридиниуклеотид)	 R (в 2′-положении адеиозина) = H *M* 665,4	Бел. аморф. порошок. Раств-сть: р. H_2O. Спектр: при pH 7,5 λ_{max} 259 (ε 16 900) и 339 нм (ε 6220). λ_{min} 234 (ε 6600) и 290 нм (ε 1300). ε_{366} 3300, ε_{339} немного уменьш. с увел. темп. и составляет 6110 при 35 °C. Эффект более заметен при 366 нм. Тв. в-во уст. при хранении в сухом защищенном от света месте при 0–4 °C. В тв. в-ве под действием влажного возд. или CO_2, и в раств. в момент замораживания и оттаивания или при стоянии при 25 °C и более медл. при 4 °C образуются ингибиторы лактат- и др. дегидрогеназ. Раств. в 50 мМ трисе (pH 7,4) уст. 1 нед при 4 °C, 1 мес. при −20 °C; раств. в фосфатном буфере гораздо менее уст, особ. при замораживании. Уст. в щел. раств., 0,1 М NaOH при 100 °C не оказывает никакого действия в течение 10 мин. Разрушается при pH ⩽ 4 и комн. т. Устойчивость см. [Scand. J. Clin. Lab. Invest. **33**, Suppl. 139 (1974)]. Оч. см. [Meth. Enzymol. **66**, 11 (1980)]; очищенный NADH более уст. как в тв. состоянии, так и в раств. Раств-сть: р. H_2O.
Na_2-соль	Na_2(NADH) *M* 709,4	
Дигидроникотинамидадениндинуклеотидфосфат (восстановленный никотинамидадениндинуклеотидфосфат; NADPH; дигидротрифосфопиридиниуклеотид)	*См.* Дигидроникотинамидадениндинуклеотид  *M* 745,4	Раств-сть: р. H_2O. Спектр: при pH 7,5 λ_{max} 259 (ε 16 900) и 339 нм (ε 6200), λ_{min} 236 (ε 7600) и 290 нм (ε 1400), ε_{366} 3300. Хранить в тв. состоянии при 0–4 °C в темноте и в эксикаторе. Уст. в раств. качественно такая же, как и у NADH, напр уст. в щел., медл. разл. при нейтр. pH, о. неуст. в кисл., но степень разл. NADPH немного больше, чем у NADH. См. [JBC **236**, 2756 (1961)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Na_4-соль	Na_4(NADPH) *M* 833,4	Бел. аморф. порошок, Раств-сть: р. H_2O.
Дигидроптероилглутаминовая кислота (7,8-дигидроптероилглутаминовая кислота; дигидрофолиевая кислота; ДГФК)	 *M* 443,4 Гидрат *M* 488,4	Бел. иглы $+2^1/_2$ H_2O, если высушена над P_2O_5 при 25 °С; желтеет при хранении. Раств-сть: р. H_2O; н. р. H_2O при pH < 4. Спектр: при pH 7 λ_{max} 282 нм, ε 28400 (имеются также сообщения, что ε 19 000 ÷ 22 000); при pH 1 λ_{max} 282 нм, ε 19 900; при pH 13 λ_{max} 284 нм, ε 27 000. Медл. окисл. на возд., особ. при щел. pH. За ночь при комн. т. при pH 6 разл. ~50%. Добавление меркаптоэтанола или аскорбата защищает от окисл., напр. за 10 ч. при 0 °С в трисе (pH 7,3) +0,3 М меркаптоэтанол разл. 2,3%. Можно хранить в тв. виде в запаянных ампулах в отсутствие O_2 или в замороженном виде в деаэрированной H_2O, а также в виде замороженной суспензии в разб. HCl (напр., 0,005 М HCl +0,05 М меркаптоэтанол). Суспензия в 0,005 М HCl уст. несколько сут. при 0–4 °С. Получ. см. [Nature Lond. **188**, 231 (1960); Meth. Enzymol. **6**, 801 (1963); **18B**, 256 (1971); **66**, 517 (1980)].
Долихол	 $n = 19$ *M* 1382,4	7 – 9: бесцв. вязкая жидк. $t_{пл}$ −10. Раств-сть: р. эф., петр. эф.; м. р. EtOH; н. р. H_2O. Спектр: *n*-фенилазобензоата: λ_{max} 324 нм, $A^{1\%}_{1\,см}$ 171,4; *n*-нитробензоата λ_{max} 256 нм, $A^{1\%}_{1\,см}$ 195. Долихолы – семейство существующих в природе полипренолов с указанной структурой из 14–22 изопреновых остатков ($n = 13 \div 21$). Долихолы позвоночных содержат гл. обр. 18–20 изопреновых остатков, а дрожжей – 15–16 остатков.
Инозит (мезоинозит; миоинозит; *мезо*-инозит; *мио*-инозит)	 *M* 180,2 Гидрат: *M* 216,2	Бел. крист. $+2H_2O$, выветр.; сладкий вкус; гидрат становится безводн. при 100 °С. $t_{пл}$ гидрат 218, безводн. 225 ÷ 227. Оптически неактивен. Раств-сть: 14^{25} H_2O; м. р. EtOH; н. р. др. орг. раств-ли. Водн. раств. имеют нейтр. р-цию. Уст. к кисл., щел. и нагрев. Гексаацетат: $t_{пл}$ 216.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Кофермент А (CoA; CoA·SH)	 *M* 767,6	Бел. гигр. порошок; запах меркаптанов. pK_a 4,0 (NH_2 аденина); 6,4 (PO_4); 9,6 (SH). Раств-сть: р. H_2O; н. р. ац., эф., EtOH. Спектр: при pH 2,5 ÷ 11,0 λ_{max} 259,5 нм, ε 16 800. Хранить в сухом виде при −20 °C; свободная кисл. может разл. на ~5% за 6 мес. Li-соль: заметного разл. не наблюдается. Очищенное в-во может содержать некоторые смешанные дисульфиды, особ. с глутатионом. Раств. неуст. при pH > 7: за 24 ч при pH 8 и 25 °C теряется 31% активности. Отн. уст. при pH 2 ÷ 6; хранить замороженными. Легко окисл возд. до неактивного дисульфида; тиольная гр. может быть регенерирована добавлением избытка тиолсодержащих соединений.
Li_3-соль	$C_{21}H_{33}N_7O_{16}P_3S \cdot Li_3$ *M* 785,4	
Кофермент B_{12} (5′-дезоксиаденозилкобаламин; аденозилкобаламин; α-(5, 6-диметилбензимидазолил) кобамидный кофермент; α-(5,6-диметилбензимидазол)-5′-дезоксиаденозилкобамид)	*См.* Цианокобаламин, где —CN-группа замещена на  *M* 1579,6	Плоские алмазоподобные жел.-оранж. крист., на возд. темно-красные; крист из H_2O или водн. ац. содержит 8 ÷ 9% H_2O. Раств-сть: $2,6^{24}$ H_2O; р. EtOH, фенол; н. р. ац., эф., диоксан. Спектр: в 0,1 М HCl: λ_{max}, нм 266 287 306 380 458; ε 41 100 23 900 22 200 8800 9400; при pH 7: λ_{max}, нм 262 290 318 341 376 522; ε 35 100 18 200 13 000 12 800 11 000 8000. Сухие крист. уст. при 0 °C в темноте несколько мес.; медл. разл. на свету при комн. т. Водн. раств. быстро разл. под действием УФ-или видимого света. В темноте раств. наиболее уст. при pH 6–7; разб. водн. раств. уст. несколько мес. при −10 °C. Нейтр. раств. красный, кислый раств. желтый. pK_a 3,5. Нагрев. в кисл. или щел. раств. вызывает медл. инактивацию. Реагирует с цианидом щел. металла, давая дицианокобаламин. Получ. см. [Biochem. Preps. **10**, 27 (1963); **12**, 124 (1968); Meth. Enzymol. **18C**, 57 (1971)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

Кофермент F_{420}



M 817,6

Желт. окраска. pK_a 1,7; 6,3; 12,2. E'_0 −0,373 В. Раств-сть: р. H_2O. Спектр при pH 4,5

λ_{max}, нм	235	250	267	395
ε	41 500	24 500	25 400	27 400

при pH 8,9

λ_{max}, нм	247	267	295	420
ε	37 000	25 800	12 600	45 500

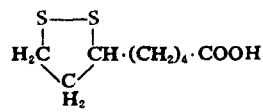
Восстановленное соединение при pH 5,7 λ_{max} 322 нм, ε 10500; при pH 8,8 λ_{max} 258 (ε 10 800) 320 нм (ε 14 500). Окисл форма дает ярко-зел. флуоресценцию. флуоресценция и поглощение в видимой области спектра исчезают при восстановлении, напр. обработка $NaBH_4$ или дитионитом при pH 7,3. Фотолабилен в аэробных усл., но не в строго анаэробных усл., в нейтр. или щел. раств. Получ. см. [Biochem. **17**, 4583 (1978)].

Кофермент М (2-меркаптоэтансульфоновая кислота; HS-CoM)

$HSCH_2CH_2SO_3H$
M 142,2

Вязкое масло. Соли: крист. Раств-сть р. H_2O. Окисл. на возд. до дисульфида (λ_{max} 245 нм, ε 380). Сильная кисл. Получ. см. [JBC **249**, 4879 (1974); Meth Enzymol. **67**, 545 (1980)]

Липоевая кислота (α-(+)-липоевая кислота; тиоктовая кислота; 6,8-дитиооктановая кислота; 1,2-дитиолан-3-пентановая кислота)



M 206,3

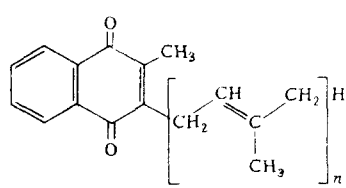
Светло-желт. пластинки; $t_{пл}$ 47,5. pK_a 4,76. $[\alpha]_D^{25}$ +104 (c = 1,88 в бенз.); E'_0 −0,325 В (pH 7, 25 °C). DL $t_{пл}$ 61. Раств-сть: н. р. H_2O; х. р. бенз., EtOH, MeOH; м. р. петр. эф. Спектр: в MeOH λ_{max} 333 нм, ε 150. Восстанавливается борогидридом до дигидролипоевой кисл. $[\alpha]_D^{20}$ −14,5 (c = 0,6 в бенз.) [Meth. Enzymol. 3, 944 (1957)]. См. обзоры (Vitams Horm. **20**, 1 (1962); Adv Enzymol. **32**, 423 (1969)].

Малонилкофермент А (малонил-CoA; малонил-S-CoA)

См. Кофермент А, SH-группа замещена на $—S—COCH_2COOH$
M 853,6

Раств-сть: р. H_2O. Спектр: *см.* Ацильные соединения кофермента А. При гидролизе $\Delta\varepsilon_{236}$ 4900 (в 0,1 М PO_4-буфере, pH 7). Общие методы получения неприменимы к малонил-CoA [JBC **235**, 346 (1960)]. Получ. см. JACS **82**, 2972 (1962); BZ **335**, 540 (1962)]. Уст.: *см.* Ацильные соединения CoA.

Менахинон (n = 6: менахинон-6; МК-6; витамин K_2(30); n = 7: менахинон-7; МК-7; витамин K_2(35))



МК-6: *M* 580.9
МК-7: *M* 649,0

МК-6: желт. крист., $t_{пл}$ 50. МК-7: светло-желт. крист. пластинки, $t_{пл}$ 54. Раств-сть: Немного менее раств, чем филлохинон в тех же раств.; м.р. EtOH; р. ац., бенз., эф., гексан, легкая фракция нефти; н. р. H_2O. Спектр в петр. эф.

λ_{max}, нм	243	248	261	270	325–328
ε	17 850	18 870	17 050	17 150	3100

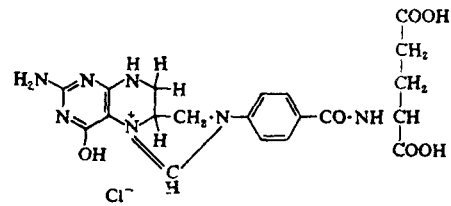
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

в EtOH

λ_{max}, нм	242	248	260	269	325
ε	17930	18940	17280	17440	3080

Хинол (восстановленная форма) (в EtOH): λ_{max} 245 и 325 нм; ε_{245} увел. при восстановлении. МК-6 и МК-7 – основные природные менахиноны с активностью витамина K, но в разных организмах найдены также менахиноны с $n = 1 \div 13$. Уст., как у филлохинона (витамин K_1). Чрезвычайно чувствителен к свету. См. обзор [Meth. Enzymol. **18C**, 407 (1971)].

5,10-Метенилтетрагидроптероилглутаминовая кислота («активный формиат»; 5,10-метилидинтетрагидрофолиевая кислота; N^5,N^{10}-ангидроформилтетрагидрофолиеевая кислота; ангидролейковорин)



Cl^-

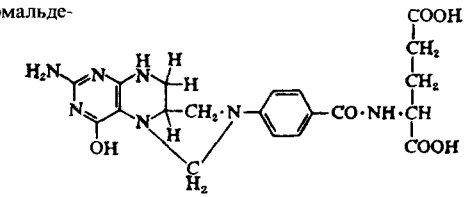
Хлорид: *M* 491,9
Внутренняя соль: *M* 455,4

Несколько крист. форм [JACS **74**, 3252 (1952)]. Хлорид: $t_{пл}$ 250 ÷ 257 (разл.). $[\alpha]_D^{23}$ (±) −36; (+) +68 (в 1 M HCl – 1 M меркаптоэтанол). Раств-сть: р. H_2O. Спектр: в 0,1 M HCl. λ_{max} 286 (ε 12100) и 350 нм (ε 24900), $A_{348}/A_{305} = 2{,}45$;

pH	3	2	1 M HCl	
λ_{max}, нм	360	352	286	345
ε	25100	25000	12400	26000

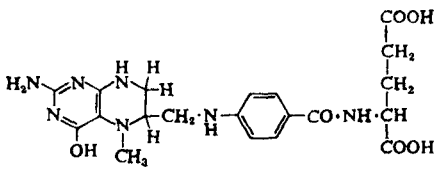
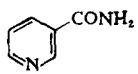
Тв. в-во и его кисл. раств. уст. на возд. При pH > 7 образует 10-формилтетрагидроптероилглутаминовую кисл.; при pH 7 скорость превращения зависит от применяемого буфера: малеат (период полупревращения 40 мин) < трис (9,4 мин) < PO_4 (6 мин) < пирофосфат (4,8 мин). Природный изомер правовращающий. Получ. см. (±) [Meth. Enzymol. **6**, 806, 814 (1963); Anal. Biochem. **22**, 166 (1968); **103**, 255 (1980)]; (+) [BBA **148**, 622 (1967)].

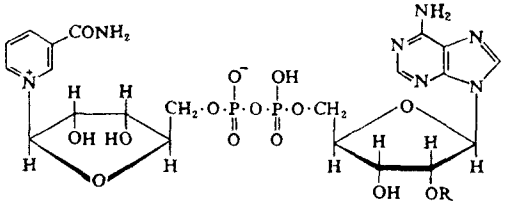
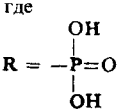
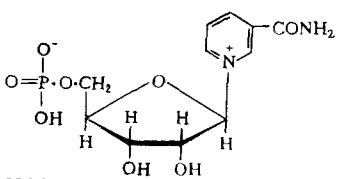
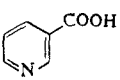
5,10-Метилентетрагидроптероилглутаминовая кислота (5,10-метилентетрагидрофолиевая кислота; «активный формальдегид»)

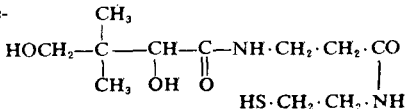
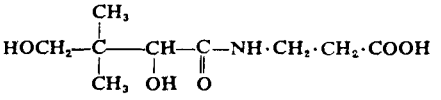
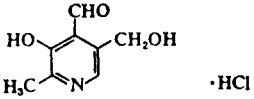
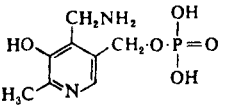


M 457,4

В тв. виде не выд. $[\alpha]_D^{23}$ (+) +165 (pH 8). Раств-сть: р. H_2O. Спектр: при pH 7,0: λ_{max} 294 нм ε 32000 (сообщается также 25000); ε_{340} 1010. Быстро образуется при смешивании избытка HCHO и тетрагидроптероилглутаминовой кисл. в мягких щел. усл. (pH 7,5 ÷ 9,5). Уст. несколько сут. на возд. при pH 9,5 на хол. При нейтр. или кисл. pH распадается на HCHO и тетрагидроптероилглутамииовую кисл.; при pH 7 полн. разл. за 15 мин. Уст. в присутствии избытка HCHO и меркаптоэтанола или аскорбиновой кисл. Константа ассоциации (HCHO + тетрагидроптероилглутаминовая кисл.) при 22 °C: $1{,}3 \cdot 10^4$ M^{-1} (pH 4,3) и $2{,}1 \cdot 10^4$ M^{-1} (pH 7,2). Эизиматически активная форма – (+)-L-соединение. Получ. см.

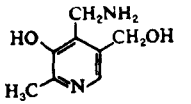
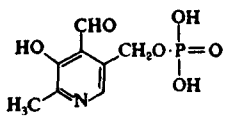
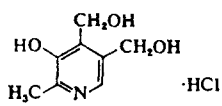
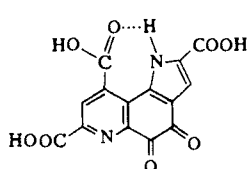
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		[Meth. Enzymol. **6**, 806 (1963); **66**, 439 (1980); BJ **74**, 71 (1960); JBC **241**, 5851 (1966)].
Метилкобаламин (метил-B_{12}; α-(5,6-диметилбензимидазолил) метилкобамид)	*См.* Цианокобаламин, где CN-группа замещена на CH_3 *M* 1344,4	Темно-красные иглы. Раств-сть: р. H_2O; н. р. ац., эф., $CHCl_3$. Спектр: в 0,1 М HCl λ_{max}, нм 265 284 304 380 458 ε 40 400 22 600 21 600 8000 9200 при pH 7,0 λ_{max}, нм 264 314 340 374 520 ε 18 200 12 100 12 800 10 700 8600 В аэробных усл. быстро подвергается фотолизу, давая аквакобаламин; фотолиз отн. замедлен в отсутствие O_2, причем скорость возрастает в присутствии меркаптанов, EtOH. Отн. уст. в кисл. и щел. Не образует дицианоко-баламина с цианидом щелочного металла. Получ. см. [Biochem. Preps. **12**, 129 (1968)].
5-Метилтетрагидроптероилглутаминовая кислота (5-метилтетрагидрофолат)	 *M* 459,5 Дигидрат: *M* 495,5 Гидрат Ba-соли: *M* 666,9	Бел. крист. $+2H_2O$. Ba-соль: крист. $+4H_2O$. Раств-сть: р. H_2O. Спектр: при pH 7,0 λ_{max} 290 нм, ε 31 700; $A_{290}/A_{245} = 3{,}8$; в 0,1 М HCl λ_{max} 270 (ε 21 000) и 294 нм (ε 20 000). Медл. разл. на возд. при комн. т., образуя 5-метилдигидроптероилглутамииовую кислоту (λ_{max} 249 и 290 нм). Разл. ускоряется ионами тяжелых металлов. В тв. виде в безводн. усл. и в темноте уст. ⩾ 5 лет при −80 °C и 6 мес. при 4 °C. Ba-соль: в сухом состоянии уст. неопределенно долго при −20 °C. Природный изомер-(+)-L. Получ. (±) [BJ **105**, 633 (1967); Anal. Bichem. **34**, 376 (1970); ABB **120**, 712 (1967)]; (+) [Anal. Biochem. **43**, 162 (1971); **83**, 615 (1977)].
Никотинамид (амид никотиновой кислоты; ниацинамид)	 *M* 122,1	Бел. иглы; $t_{пл}$ 128 ÷ 131. Перекр. из бенз. pK_a 3,4 (пиридиний-ион). Раств-сть: 100 H_2O; 66 EtOH; р. ац., $CHCl_3$; м. р. бенз., эф. Спектр: в H_2O λ_{max} 261,5 им, ε варьирует в зависимости от pH [J. Phys. Colloid Chem. **55**, 173 (1951)]. Уст. в виде сухого тв. в-ва < 50 °C. В нейтр. водн. раств. может быть автоклавирован при 120 °C в течение 20 мин, но гидрол. до никотиновой кисл. в кисл. и щел. раств.

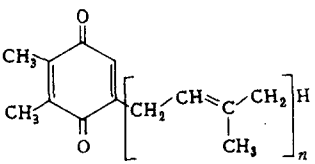
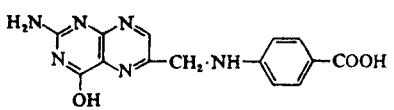
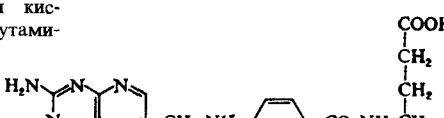
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Никотинамидадениндинуклеотид (дифосфопиридиннуклеотид; кофермент I; NAD; NAD^+; НАД; $НАД^+$)	 В 2′-положении аденозина R = H *M* 663,4 Гидрат (+ $4H_2O$): *M* 735,5	Бел. порошок: о. гигр. Содержание воды зависит от усл. высушивания и хранения. $[\alpha]_D^{23}$ −34,8 ($c = 1$ в H_2O). E'_0 −0,318 В (pH 7, 30 °C). Раств-сть: х. р. H_2O; н. р. эф. Спектр: при pH 7 λ_{max} 260 нм (ε 18 000) и λ_{min} 230 нм (ε 8000); цианидный аддукт при pH 10 λ_{max} 327 нм, ε 5900. Тв. в-во уст. в эксикаторе при 0°C или комн. т. Нейтр. или слабокисл. (pH 3 ÷ 7) раств. уст. при 0 °C ⩾ 2 нед. Раств. быстро разл. при нагрев. О. лабилен в щел. раств., разл. ускоряется в присутствии фосфата, малеата и карбоната. Уст. см. [JBC **236**, 2756 (1961)]. Разрушается под действием УФ-света. Ферментативную активность имеет только β-форма.
Li-соль	$LiH(NAD)\cdot 2H_2O$ *M* 705,4	Крист.
Никотинамидадениндинуклеотидфосфат (трифосфопиридиннуклеотид; кофермент II; NADP; $NADP^+$; НАДФ; $НАДФ^+$)	*См.* Никотинамидадениндинуклеотид, где  *M* 743,4	Бел. порошок: о. гигр. pK_a 3,9; 6,1. E'_0 −0,317 В (pH 7, 30 °C). Раств-сть: р. H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф. Спектр: при pH 7 λ_{max} 260 нм, (ε 18 000) и λ_{min} 231 нм (ε 8100); цианидный аддукт при pH 10 λ_{max} 327 нм, ε 5900. Тв. в-во уст. над осушителем при 0 °C или при комн. т. Раств. свободной кисл. уст. на хол. многие нед. По уст. в целом аналогичен никотинамидадениндинуклеотиду, но менее уст. в сильной кисл. или разб. щел. См. [JBC **236**, 2756 (1961)].
Na-соль	$Na_2H(NADP)$ *M* 787,4	
K-соль	$KH_2(NADP)\cdot 2H_2O$ *M* 817,4	Крист.
Никотинамидмононуклеотид (никотинамидриботид)	 *M* 334,2	$[\alpha]_D$ −38,3 ($c = 1$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; н. р. ац. Спектр: при pH 7,0 λ_{max} 266 нм (ε 4600) и λ_{min} 249 нм (ε 3600); цианидный аддукт λ_{max} 325 им, ε 6200. В р-ции с цианидом напоминает NAD. Хранить в замороженном раств., но не в тв. состоянии. Получ. см. [Meth. Enzymol. **3**, 900 (1957); **66**, 62, 71 (1980); FEBS Lett. **15**, 277 (1971)].
Никотиновая кислота (ниацин; пиридин-3-карбоновая кислота; витамин PP)	 *M* 123,1	Бел. иглы. Плавится 236 ÷ 237, затем субл. pK_a 4,76. Раств-сть: $1,7^{20}$ H_2O; х. р. H_2O при 100 °C; р. EtOH, щел.; м. р. бенз., эф. Спектр: в H_2O λ_{max} 261,5 нм, ε варьирует в зависимости от pH [J. Phys. Colloid Chem. **53**, 414 (1949)]. О. уст. на возд. В тв. виде нетигр. Водн. раств. уст. к автоклавированию при 120 °C в течение 20 мин. Уст. в кисл. и щел. раств.

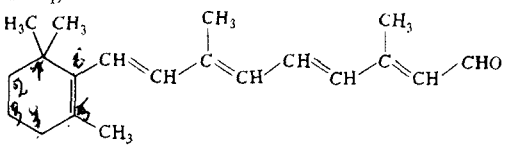
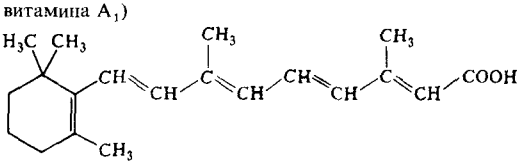
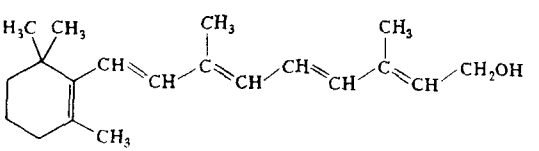
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Пантетеин (N-(пантотенил)-β-аминоэтантиол)	 *M* 278,4	Гигр. масло или смола $[\alpha]_D^{20}$ +12,9 ($c = 4,5$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф. Легко окисл. до дисульфида (пантетин): $[\alpha]_D^{27}$ +13,5° ($c = 3,75$ в H_2O); р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф., ац.). Хранить в виде пантетина и регенерировать пантетеин восстановлением Na_2S или цистеином. S-Бензоилпантетеин: крист.; $t_{пл}$ 116; $[\alpha]_D^{27}$ +31 (в H_2O); р. H_2O; выраженная стимулирующая рост активность; уст. в нейтр. водн. растворе, но быстро гидрол. в щел. до пантетеина и бензоата.
Пантотеновая кислота (D(+)-N-(α,γ-Дигидрокси-β,β-диметилбутирил)-β-аланин)	 *M* 219,2	Гигр. вязкое масло. $[\alpha]_D^{25}$ +37,5 (в H_2O); pK_a 4,4. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH, лед. укс. кисл.; р. эф., ац.; н. р. бенз., $CHCl_3$. Уст. в нейтр. раств. Быстро разл. кисл., щел. или при нагрев.
Са-соль	$(C_9H_{16}NO_5)_2Ca$ *M* 476,5	Бел. крист., умеренно гигр. $t_{пл}$ 196 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ +28,2 ($c = 5$ в H_2O). Раств-сть: 14,5 H_2O; м. р. EtOH, ац. Достаточно уст. на свету и на возд. В раств. наиболее уст. при pH 5 ÷ 7, неуст. при автоклавировании.
Пиридоксальгидрохлорид	 ·HCl *M* 203,6 Свободное основание: *M* 167,2	Бел. ромб. крист. $t_{пл}$ 165 (разл.). pK_a 4,23 (фенольный OH); 8,70 (пиридиниевый H), 13,0. Раств-сть: 50 H_2O; 1,7 95%-ный EtOH. Спектр: при pH 7,0 λ_{max} 252 и 318 нм (ε 8200); в 0,1 M NaOH λ_{max} 300 (ε 5800) и 393 нм (ε 1700) [JACS **76**, 169 (1954)]. Фотолабилен в раств. при нейтр. и особ. щел. pH. Тв. в-во и его кисл. раств. ср. фотостабильны. Нейтр. и кисл. раств. (H_2SO_4 или HCl ⩽ 2,5 моль/л) уст. при нагрев., некоторая деструкция наблюдается в гор. сильн. щел. Образует основания Шиффа с аминами.
Пиридоксальфосфат (пиридоксаль-5′-фосфат; кодекарбоксилаза)	 *M* 247,1 Гидрат: *M* 265,1	Иглы + 1 H_2O. $pK_a < 2,5$ (PO_4); 4,14 фенольный OH); 6,20 (PO_4); 8,69 (пиридиниевый H). Растворимость: р. H_2O; м. р. MeOH; о. п. р. EtOH; н. р. $CHCl_3$, ац., бенз. Спектр [JACS **76**, 169 (1954)]:

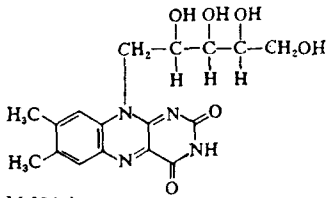
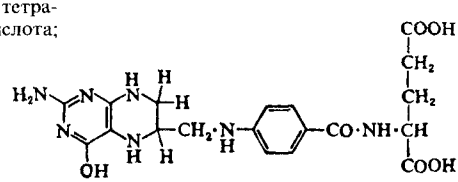
	в 0,05 M PO_4, pH 7,0		в 0,1 M NaOH	
λ_{max}, нм	330	388	305	388
ε	2500	4900	1100	6550

Уст. в водн. раств. в темноте на хол., 2–3% разл. за 3 нед при 0 °C, лишь немного больше разл. при комн. т. даже в 1 M HCl или NaOH. Гидрол. при автоклавировании при 126 °C в 0,027 M H_2SO_4

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		за 3 ч. Фотолабилен в тв. состоянии и в раств., особ. при щел. pH. Образует основания Шиффа с аминами. Нормальная коферментная форма витамина B_6.
Пиридоксаминдигидрохлорид	 ·2HCl *M* 241,1 Свободное основание: *M* 168,2	Бел. распл. пластинки. $t_{пл}$ 226 ÷ 227 (разл.) pK_a 3,54; 8,21; 10,63 (NH_2). Раств-сть: 50 H_2O; 0,65 95%-ный EtOH. Спектр [JACS **76**, 169 (1954)]: при pH 7,0 — 0,1 M NaOH λ_{max}, нм: 253, 325 — 245, 308 ε: 4600, 7700 — 5900, 7300 Фотолабилен в раств., особ. при щел. pH. Нейтр., кисл. и щел. раств. уст. к нагрев.
Пиридоксаминфосфат (пиридоксамин-5′-фосфат)	 *M* 248,2 Гидрат: *M* 284,2	Бел. призм. крист. $+2H_2O$. Безводн. гигр. иглы pK_a < 2,5 (PO_4) 3,69 (фенольный OH), 5,76 (PO_4); 8,61 (пиридиниевый H); 10,92 (NH_2). Раств-сть: р. H_2O. Спектр [JACS **76**, 169 (1954)]: при pH 7,2 — при pH 10 λ_{max}, нм: 254, 327 — 244, 312 ε: 5200, 9400 — 7500, 8300 Водн. раств. уст. в темноте. Незначит. гидрол. через 3 нед. в темноте при комн. т. и ниже в 1 M NaOH или HCl. Полн. гидрол. при автоклавировании при 126 °C в 0,027 M H_2SO_4 за 3 ч. Фотолабилен в раств., особ. при щел. pH.
Пиридоксингидрохлорид (витамин B_6·HCl; пиридоксин ·HCl)	 ·HCl *M* 205,7 Свободное основание: *M* 169,2	Бел. пластинки. $t_{пл}$ 205 ÷ 212 (разл.) pK_a 4,94; 8,89. Раств-сть: 22 H_2O; 1,1 EtOH; м. р. ац.; н. р. эф. Спектр [JACS **76**, 169 (1954)]: при pH 6,8 — в 0,1 M NaOH λ_{max}, нм: 254, 324 — 245, 308 ε: 3700, 7100 — 6500, 7000 Крист. уст. на свету, но нейтр. и особ. щел. раств. в определенной степени фотолабильны. Стерилизуют автоклавированием в раств. с pH ⩽ 5.
Пирролохинолинхинон (2,7,9-трикарбокси-1H-пирроло[2,3-*f*]хинолин-4,5-дион; метоксатин)	 *M* 330,2	Темно-красное тв. в-во. pK_a ~2,5. E'_0 +0,090 В (pH 7,0). Раств-сть: р. H_2O; м. р. MeOH; н. р. EtOH, эф., ац., $CHCl_3$. Спектр: в 0,05 M K-PO_4-буфере (pH 7) λ_{max} 249, 275 (плечо), 330 нм, ε_{249} 18 400. Изобестические точки pH 5–9: λ, нм: 233, 259, 322 ε: 14 400, 16 040, 8960 Флуоресценция (pH 7): max возбуждения *A* 225 и 365 нм, max испускания *F* 470 нм. На интенсивность поглощения и флуоресценции влияет темп. [EJB **125**, 69 (1982)]. Простетическая группа

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		метанол-, глюкозо- и др. дегидрогеназ в бактериях. Образует флуоресцирующие аддукты по С-5 с H_2O, MeOH, альдегидами, NH_3, аминами. Восстановление фенилгидразином в 2 М HCl, H_2 + PtO_2 при pH 7 или меркаптоэтанолом при pH 9 дает 4,5-хинол, меркаптоэтанолом при pH 13 – семихинон, $NaBH_4$ – 4,5-дигидрохинол. Получ., выделение см. [BJ **187**, 221 (1980)]; синт. см. [JACS **103**, 5599 (1981)]. Опр. см. [Anal. Biochem. **133**, 239 (1983)]. Семихинон: уст. при pH 13; λ_{max} 458 нм при pH 13. Хинол: отн. уст. к аутоокислению при низких pH, быстро окисл. при нейтр. или щел. pH; λ_{max} 302 нм, ε 25 050 при pH 7; не флуоресцирует; получ. см. [EJB **118**, 395 (1981)]. См. обзор [TIBS **6**, 278 (1981)].
Пластохинон (пластохинон-*n*; PQ-*n*; пластохинон-5*n*; напр., для *n* = 9: пластохинон-9; пластохинон-45; пластохинон A)	 *n* = 9: *M* 749,2 *n* = 10: *M* 817,3	Желт. крист. $t_{пл}$ для *n* = 9 48 ÷ 49, *n* = 10 50 ÷ 51. Раств-сть: р. EtOH, эф., петр. эф., н. р. H_2O. Спектр: в EtOH λ_{max} 255 нм, ε 15 200; в петр. эф. λ_{max} 254 и 261 нм, ε_{254} 18 900; хинол (в EtOH) λ_{max} 290 нм, ε 3450. Пластохиноны с *n* = 3, 4, 9 и 10 найдены в природе. Неуст. в присутствии O_2 и на свету. Обзор см. [Meth. Enzymol. **23**, 372, (1971)].
Птероевая кислота	 *M* 312,3	Желт. крист. порошок. Раств-сть: м. р. водн. NaOH, Na_2CO_3, $NaHCO_3$; н. р. разб. кисл. Спектр: при pH 7,0: λ_{max}, нм 280, 350; ε 27 800, 7180 в 0,1 М NaOH: λ_{max}, нм 255, 275, 365; ε 26 300, 23 400, 8900 Фактор роста только для *Streptococcus faecalis* и др. энтерококков. Получ. см. [Anal. Biochem. **46**, 1 (1972); J. Org. Chem. **36**, 860 (1971)].
Птероилглутаминовая кислота (фолиевая кислота; птероил-L-глутаминовая кислота)	 *M* 441,4 Гидрат: *M* 477,4	Оранж.-желт. крист. или порошок. Образцы, высушенные при темп. < 140 °C, содержат $2H_2O$, разл. 250. pK_a 4,65; 6,75; 9,00. $[\alpha]_D^{25}$ +23 (*c* = 0,5 в 0,1 М NaOH). Раств-сть: кислота 0,001°, 0,05^{100} H_2O; р. щел.; н. р. H_2O при pH < 5; м. р. лед. укс. кисл., MeOH; о. п. р. EtOH; н. р. многие орг. раств-ли; Na_2-соль 1,5° H_2O. Спектр: при pH 7,0: λ_{max}, нм 282, 350; ε 27 000, 7000 при pH 13: λ_{max}, нм 256, 283, 365; ε 26 900, 25 100, 9260 Фотолабильна; инактивируется под действием УФ-света. В тв. состоянии уст. в темноте. Щел. раств. довольно

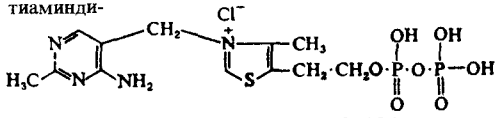
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		уст. в темноте. Разрушается при нагрев. в кисл. или щел. растр. См. обзор [Blakley, The biochemistry of folic acid and related pteridines, North-Holland, 1969]. Существующие в природе соединения фолиевой кисл. – часто производные птероилполиглутаматов, обычно содержащие 2–7 γ-глутамильных остатков. Полиглутамильные соединения обладают св-вами (напр., растворимость, спектр), аналогичными св-вам соответствующих моноглутамильных соединений. Получ. птероилполиглутаматов, см. [Meth. Enzymol. **66**, 523 (1980); JBC **247**, 2266 (1972); Vitams Horm. **40**, 45 (1983)].
Ретиналь, полный *транс*-изомер (ретинен; ретинальдегид; альдегидная форма витамина A_1)  *M* 284,4		Оранж. крист. $t_{пл}$ 61 ÷ 64. Раств-сть: р. MeOH, EtOH, $CHCl_3$, эф., циклогексан; н. р. H_2O. Спектр: в EtOH λ_{max} 381 нм, ε 43 500; комплекс с $SbCl_3$ в $CHCl_3$, λ_{max} 664 нм, $A^{1\%}_{1\,см}$ 3400. Неуст. на возд. и в кисл.; менее уст., чем ретинол. Частично изомеризуется до *цис*-изомеров под действием света. 11-*цис*-Ретиналь – компонент родопсина. Получ. см. [BJ **42**, 516 (1948); Meth. Enzymol. **18C**, 641 (1971)].
Ретиноевая кислота, полный *транс*-изомер (кислотная форма витамина A_1)  *M* 300,4		Желт. иглы. $t_{пл}$ 179 ÷ 180. Раств-сть: р. MeOH, EtOH, $CHCl_3$, эф., циклогексан; н. р. H_2O. Спектр: в EtOH λ_{max} 350 нм, ε 45 400; комплекс с $SbCl_3$ в $CHCl_3$ λ_{max} 574 нм. По уст. аналогична ретинолу; неуст. на возд., в кисл. и к действию УФ-света. Получ. см. [BJ **113**, 447 (1969)].
Ретинол, полный *транс*-изомер (витамин A_1; аксерофтол)  *M* 286,5		Желт. призмы. $t_{пл}$ 64. Раств-сть: р. MeOH, EtOH, $CHCl_3$, эф., циклогексан; н. р. H_2O. Спектр: в EtOH λ_{max} 325 нм, ε 52 480; комплекс с $SbCl_3$ в $CHCl_3$ λ_{max} 620 нм, $A^{1\%}_{1\,см}$ 4800. Разрушается под действием УФ-света. Легко окисл. на возд.; может быть стабилизирован при раств. в масле, при добавл. антиоксиданта, такого, как α-токоферол или гидрохинон, или путем перевода в ацетат или пальмитат. Уст. в щел., неуст. в кисл.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Рибофлавин (витамин B_2; лактофлавин)	 *M* 376,4	Желт. иглы. Разл. ~280. $[\alpha]_D^{21}$ −117 (c = 0,5 в 0,1 М NaOH; сильно зависит от конц.). E'_0 −0,208 В (pH 7, 30 °C) pK_a 9,69. Раств-сть: $0{,}01^{25}$, $0{,}23^{100}$ H_2O, 0,0045 EtOH; х. р. разб. щел. (с разл.). конц. HCl; р. лед. укс. кисл., фенол; н. р. эф., $CHCl_3$, ац., бенз. Спектр: в 0,1 М фосфате (pH 7) λ_{max}, нм 266 373 445 ε 32 500 10 600 12 500 $\lambda_{ср}$, нм 260 375 450 ε 27 700 10 600 12 200 Max флуоресценции F 525–530 нм; максимальная интенсивность при pH 3,5 ÷ 7,5; для дигидросоединения ε_{450} 780. Сухое тв. в-во уст. к рассеянному свету. Чрезвычайно фотолабилен в раств., особ. щел. Нейтр. и кисл. водн. раств. уст. в темноте, за 1 мес разл. 3% при 27 °C и pH 6; может быть стерилизован автоклавированием. Быстро разл. в щел. раств. Уст. к мягким окисл., включая O_2. Восстанавливается дитионитом, амальгамой Na, Zn + кислота или H_2 + катализатор до бесцв. дигидросоединения, которое легко подвергается аутоокислению.
Сукцинилкофермент А (сукцинил-CoA; сукцинил-S-CoA)	*См.* Кофермент А, где —SH замещен на —$SCOCH_2CH_2COOH$ *M* 867,6	Раств-сть: р. H_2O. Спектр: *см.* Ацильные соединения кофермента А; $\Delta\varepsilon_{232}$ при гидролизе 4500. Неуст. при нейтр. pH при комн. т., в бикарбонатном буферном раств. (pH 7,5), период полупревращения 1–2 ч, медл. разл. в PO_4-буфере. О. быстро гидрол. при нагрев., полн. гидрол. за 1–2 мин при 100 °C Нейтр. раств. можно хранить при −15 °C (незначит. разл.). Уст. при pH 1. Получ. см. [Biochem. Preps. **5**, 30 (1957)]. *См. также* Ацильные соединения кофермента А
Тетрагидроптероилглутаминовая кислота (5,6,7,8-тетрагидроптероилглутаминовая кислота; тетрагидрофолиевая кислота; ТГФК)	 *M* 445,4 +2CH_3COOH: *M* 565,4	Мелкокрист. бел. порошок, темнеющий при разл.; при осаждении из CH_3COOH содержит 2CH_3COOH; E'_0 ДГФК/ТГФК −0,19 В. pK_a 3,5 (COOH); 4,8 (COOH); 4,8 (N^5); 10,5 (N^3). $[\alpha]_D^{27}$ (±) +14,9 (в 0,1 М NaOH); (−) −16,9 (в 0,1 М NaOH). Раств-сть: р. H_2O, лед. укс. кисл., н. р. эф. Спектр: при pH 7 λ_{max} 297 нм, ε 29 100; при pH 11 λ_{max} 290 нм, ε 21 600; при pH 3 λ_{max} 270 (ε 25 400) и 290 нм (ε 22 800). При разл. λ_{max} смещается к 282 нм из-за образования дигидроптероилглутаминовой кисл. Тв. в-во медл. окисл. на возд. темнея. При хранении в вакууме или атм. инерт. газа, в темноте и на

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

...ол. в безводн. усл. разл. сильно замедляется, но полн. не предотвращается. Быстро окисл. в раств. до дигидроптероилглутаминовой кисл.; дальнейшее разл. происходит гораздо медл., вызывая окрашивание раств. Разл. катализируется светом, кисл., осиованием и ионами тяжелых металлов (Cu, Fe). Наиболее уст. при pH 5 ÷ 6. На уст. влияет состав буфера; наиболее уст. в веронале, трисе, триэтаноламине, наименее уст. в фосфате или малеате. Раств. стабилизируется аскорбатом или меркаптоэтанолом или пропусканием через раств. N_2 или Ar. Период полупревращения без стабилизатора в PO_4-буфере (pH 7,5) 200 мин при 0°C, ... мин при 23 °C. Раств., содержащие аскорбат или меркаптоэтанол, уст. несколько месяцев при −20 °C, несколько ч при 0°C, 1–2 ч при 23 °C, до 15 мин в трис-буфере при 100 °C. Раств. можно хранить несколько мес. (без заметного разл.) в 0,2 М меркаптоэтаноле при pH 7 и 4°C в вакууме или (без меркаптоэтанола) в 10^{-3} М ЕДТА pH 5 ÷ 6, в атм. инертн. газа и замороженными. Природный изомер–(−)-L. Получ. см. (±) [BJ **65**, 331 (1957); Biochem. Preps. 7, 89 (1960); Meth. Enzymol. **6**, 802 (1963); **18B**, 728 (1971); **66**, 519 (1980); Biochem. **5**, 303 (1964); BBRC **4**, 180 (1961); Anal. Biochem. **103**, 255 (1980)]; (−) [Meth. Enzymol. **6**, 805 (1963); JBC **249**, 4100 (1972)].

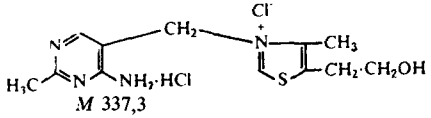
Тиаминпирофосфат (дифосфотиамин; кокарбоксилаза; TPP; тиаминдифосфат)



Свободный катион: *M* 425,3
Хлорид: *M* 460,8
Гидрат: *M* 478,8

Хлорид: крист. $+1H_2O$ из EtOH. $t_{пл}$ 240 ÷ 244 (разл.). pK_a 5,0. Раств-сть: р. H_2O. Спектр: при pH 1 ÷ 3 λ_{max} 247 нм, ε 13 000; в PO_4-буфере (pH 8) λ_{max} 233 (ε 10 800) и 267 нм (ε 7800); λ_{min} 248 нм. Изобестическая точка (pH 2 ÷ 8) 272,5 нм. Тв. в-во уст. в сухом состоянии. Раств. немного менее уст., чем тиамиихлоридгидрохлорид. См. обзор [Ann. N.Y. Acad. Sci. **98**, 383 (1962)].

Тиаминхлоридгидрохлорид (тиамингидрохлорид; гидрохлорид витамина B_1; гидрохлорид аневрина)



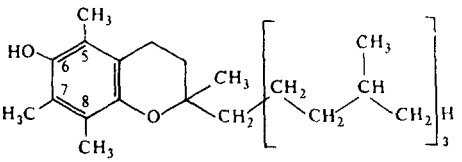
M 337,3
Гидрат: *M* 355,3

Монокл. пластинки; гигр., обычно $+{}^1/_2$ или $1H_2O$; имеет запах дрожжей. $t_{пл}$ 247 ÷ 248 (разл.). pK_a 4,8; 9,2. Раств-сть: 100 H_2O; 0,35 EtOH; р. MeOH; н. р. эф., бенз., $CHCl_3$. Спектр: в H_2O при pH ⩾7 λ_{max} 235 (ε 11 300) и 267 нм (ε 8300); при pH ⩽5,5 λ_{max} 247 нм, ε 14 200. Коммерческие образцы содержат ~4% H_2O, которую можно удалить при 100 °C. Сухое тв. в-во уст. на возд. Раств. при pH 3,5 уст. при

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

120 °C. При pH >5 раств. неуст., особ. к нагрев.; pH >7 неуст. при стоянии при комн. т. Неуст. к восстановителям и окислителям. Раств. имеют кисл. р-цию.

Токоферол (витамин Е; α-токоферол: 5,7,8-триметилтокол; β-токоферол: 5,8-диметилтокол; γ-токоферол: 7,8-диметилтокол; δ-токоферол: 8-метилтокол)

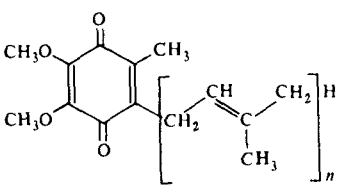


α-токоферол

α: *M* 430,7
β: *M* 416,7
γ: *M* 416,7
δ: *M* 402,7

Св.-желт. масла, $t_{пл}$ α 2,5 – 3,5; γ -3 ÷ --2. Оптическая активность: слабо правовращающие в EtOH, знак вращения зависит от раств-ля. Раств-сть: р. ац., EtOH, $CHCl_3$, эф., масла: н. р. H_2O. Спектр: в EtOH α λ_{max} 292 нм, ε 3260; β λ_{max} 296 нм, ε 3720; γ λ_{max} 298 нм, ε 3810; δ λ_{max} 298 нм, ε 3510. Сильная флуоресценция: *A* 295 нм, *F* 340 нм. Медл. окисл. на возд., быстро в присутствии щел. или при нагрев. В отсутствие O_2 уст. к нагрев. до ~200 °C и к щел. Кисл. не оказывают никакого действия до 100 °C. Постепенно темнеет на свету, чувствителен к УФ-свету. Токоферолы могут служить антиоксидантами; наиболее мощный антиоксидант – δ-токоферол. Эфиры (ацетат, аллофанат, *n*-нитрофенилуретан) гораздо более уст. к свету и O_2, чем свободные токоферолы. α-Токоферилацетат: желт. крист.; $t_{пл}$ 28; λ_{max} 284 нм, ε 2050. В природе найдены также соответствующие токотриенолы с группами $-CH_2CH{=}C(CH_3)CH_2$ в боковых цепях, спектры которых аналогичны спектрам соответствующих токоферолов.

Убихинон (убихинон-*n*; Q-*n*; кофермент Q_n; CoQ_n; убихинон-5*n*; напр., для $n = 10$: убихинон-10; Q-10; кофермент Q_{10}; CoQ_{10}; убихинон-50)



Q-6: *M* 590,9
Q-7: *M* 659,0
Q-8: *M* 727,1
Q-9: *M* 795,3
Q-10: *M* 863,4

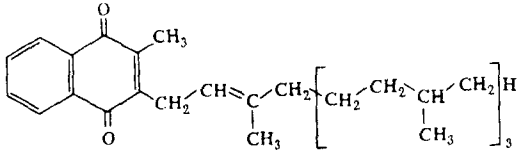
Оранж. крист. $t_{пл}$ Q-6 19–20; Q-7 31–32; Q-8 37–38; Q-9 44–45; Q-10 49. Раств-сть: р. EtOH, эф., гексан, петр. эф., циклогексан; н. р. H_2O. Спектр: для всех гомологов в EtOH λ_{max} 275 и 405 нм; λ_{min} 236 нм; Хинол λ_{max} 290 нм; в петр. эф. λ_{max} 270 нм; в гексане λ_{max} 272 нм;

	ε_{270} (петр. эф.)	ε_{275} (EtOH)	$\Delta\varepsilon_{Ox/Red,275}$ (в EtOH)
Q-6	15 370	14 900	12 400
Q-7	15 090	14 800	12 600
Q-8	14 980	14 900	12 700
Q-9	14 870	14 700	12 500
Q-10	15 190	14 600	12 500

Медл. разл. под действием O_2, УФ- или солнечного света. Быстро окисл. в щел., но уст. в щел. в присутствии пирогаллола, связывающего O_2. Восстанавливается дитионитом, борогидридом или Zn + кислота до хинола, который снова медл. окисл. на возд. См. обзоры [Vitams. Horm. **24**, 291 (1966); Meth. Enzymol. **18C**, 137 (1971); **53**, 591 (1978)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

Филлохинон (витамин K_1; 2-метил-3-фитил-1,4-нафтохинон)



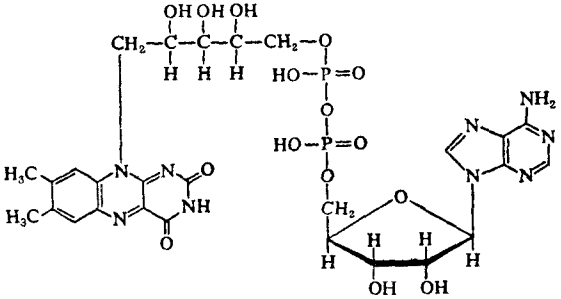
M 450,7

Желт. вязкое масло. $t_{пл}$ −20. Раств-сть: р. EtOH, ац., бенз., эф., легкая фракция нефти; н. р. H_2O. Спектр: в петр. эф.

λ_{max}, нм	242	248	260	269	325
ε	17850	18880	17260	17440	3065

Восстановленная форма – хинол; спектр в EtOH: λ_{max} 245 и 325 нм, ε_{245} увел. при восстановлении. Довольно уст. к действию возд., влаги и к нагрев. Быстро разл. под действием видимого и УФ-света. Не изменяется под действием разб. кисл., но разл. щел. Восстанавливается до хинола под действием $NaBH_4$ или дитионита.

Флавинадениндинуклеотид (FAD)



M 785,6

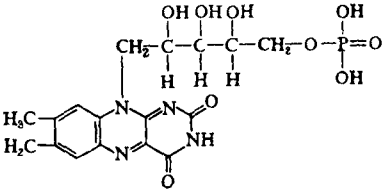
Оранж. гигр. порошок. E'_0 −0,219 В (pH 7, 30 °C). Раств-сть: х. р. H_2O; р. пир., фенол; н. р. EtOH, эф., ац., $CHCl_3$. Спектр: в 0,1 М PO_4-буфере (pH 7)

λ_{max},	263	375	450
ε	38000	9300	11300

ε_{260} 37000. Max флуоресценции *F* 525–530 нм, максимальная интенсивность при pH 2,7–3,1, намного слабее (на 9–20%), чем у рибофлавина или FMN. Дигидросоединение: ε_{450} 980. Тв. в-во и нейтр. водн. раств. в темноте при 0 °C уст. неопределенно долго. Хол. разб. кисл. не оказывают никакого действия, но при нагрев. (напр., 0,1 М HCl при 100 °C) происходит гидрол. до FMN. Гидрол. до рибофлавин-4,5′-циклофосфата в нейтр. раств, при >80 °C, а также (быстро) в щел. раств. В нейтр. раств. FAD гораздо менее фотолабилен, чем FMN или рибофлавин, но о. фотолабилен в щел. раств. Все раств. лучше хранить в темноте. Восстанавливается до бесцв. дигидросоединения дитионитом, амальгамой Na, Zn + кислота или H_2 + катализатор; дигидросоединение о. легко аутоокисл. Получ. см. [Biochem. Preps **7**, 51 (1960); Meth. Enzymol. **18C**, 399 (1971)].

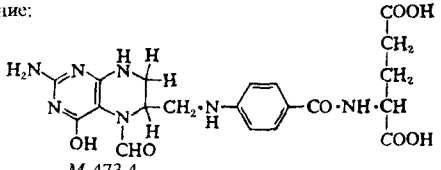
Na-соль

NaH·(FAD)
M 807,6

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Флавинмононуклеотид (рибофлавин-5′-фосфат; FMN)	 *M* 456,4	Оранж. слегка гигр. порошок; обычно свободная кислота и Na-соли $+2 \div 3$ H_2O; E'_0 $-0{,}219$ В (pH 7, 30 °C). Раств-сть: р. H_2O, лед. укс. кисл., пир., фенол: о. п. р. EtOH; н. р. ац., эф., $CHCl_3$. Спектр: в 0,1 М PO_4-буфере (pH 7)

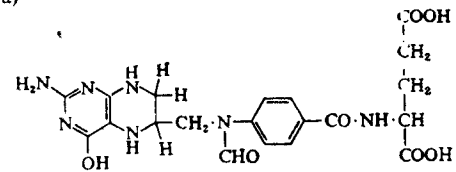
λ_{max}, нм	266	373	445
ε	31 800	10 400	12 500
$\lambda_{ср}$, нм	260	375	450
ε	27 100	10 400	12 200

Мах флуоресценции $525 \div 530$ нм. Дигидросоединение: ε_{450} 870. Наиболее уст. при pH ~6. Нейтр. раств. уст. при 100 °C. Фосфоэфирная связь гидрол. в кисл. раств., связь кольцо—рибит неуст. в щел. раств. NH_4-соль: о. неуст. Быстрый фотолиз при всех pH, но особ. в щел. раств. (более быстрый, чем у рибофлавина). Хранить в темноте. Восстанавливается до бесцв. дигидросоединения дигионитом, амальгамой Na, Zn + кислота или H_2 + катализатор. Дигидросоединение: о. легко аутоокисляется. Оч. см. [Meth. Enzymol. **66**, 217, (1980)].

Na-соль	NaH·(FMN) *M* 478,3	Гигр. Раств-сть: 11,2 (pH 6,9), 4,3 (pH 3,8) H_2O.
Na-соль, гидрат	NaH·(FMN)·$2H_2O$ *M* 514,4	Желт. крист.
5-Формилтетрагидроптероилглутаминовая кислота ((±)-соединение: фолиновая кислота SF; лейковорин; (−)-соединение: цитроворный фактор)	 *M* 473,4 Гидрат: *M* 527,5	Легкие кремовые крист. + $3H_2O$; H_2O удаляется при 100 °C в высоком вакууме за 2 ч. $t_{пл}$ 248 – 250 (разл.). pK_a 3,1; 4,8; 10,4. $[\alpha]_D^{25}$ (±) +14,3 ($c = 3.4$ безводн. Са-соль в H_2O); (−) −15,1 ($c = 1{,}8$ безводн. Са-соль в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Спектр: при pH 13 λ_{max} 282 нм, ε 32 600; λ_{min} 248 нм; при pH 7 λ_{max} 286 нм, ε 31 800. В тв. состоянии уст. на возд. неопределенно долго. В кисл. раств. происходит циклизация формильной гр. до 5,10-метенилтетрагидроптероилглутаминовой кисл. Уст. в нейтр. или щел. раств.; не окисл. на возд. В природе – (−)-L-форма. Получ. см. [Meth. Enzymol. **18B**, 731 (1971); **66**, 541, 547 (1980)].
Са-соль (Са-лейковорин)	$C_{20}H_{21}N_7O_7Ca \cdot 5H_2O$: *M* 601,6	Крист. Раств-сть: р. H_2O; н. р. EtOH.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства

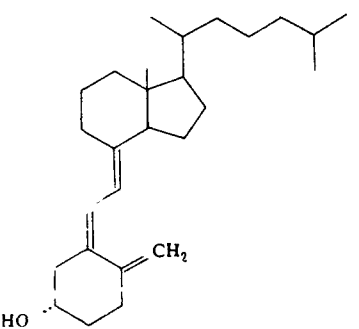
10-Формилтетрагидроптероилглутаминовая кислота (10-формилтетрагидрофолиевая кислота)



M 473,4

В тв. состоянии не выделена. $[\alpha]_D^{23}$ (±) −9; (−) −42 (в 0,1 *M* NaOH–1 *M* меркаптоэтанол). Раств-сть: р. H_2O. Спектр: pH 7–9 λ_{max} 258 им, ε 22 000. Быстро окисл. на возд. Меркаптоэтанол предохраняет от окисл.; раств., содержащий 1 *M* меркаптоэтанол, можно хранить при −20 °C < 3 сут. При pH <6 циклизуется с образованием 5,10-метенилтетрагидроптероилглутамииовой кисл. При нагрев. или длительном выдерживании при нейтр. или щел. pH изомеризуется с образованием 5-формилтетрагидроптероилглутаминовой кисл., но сильн. щел. (0,1 *M*) удаляет формильную гр. Легко получается из раств. 5,10-метенилтетрагидроптероилглутаминовой кисл. путем доведения pH ⩾7 и выдерживания в течение нескольких ч. Получ. см. также [BJ **72**, 707 (1959); Meth. Enzymol. **6**, 814 (1963)]. В природе (−)-L-изомер [BBA **148**, 622 (1967)]. 10-Формилптероилглутаминовая кислота: λ_{max} 250 и 316 нм (в 98%-ной HCOOH), λ_{max} 256 (ε 46 000) и 256 нм (в 0,01 *M* NaOH); получ. см. [BJ **72**, 707 (1959); Meth. Enzymol. **66**, 440 (1980)].

Холекальциферол (витамин D_3; кальциол; 9,10-секохолестатриен-5,7,10(19)-ол-3β)

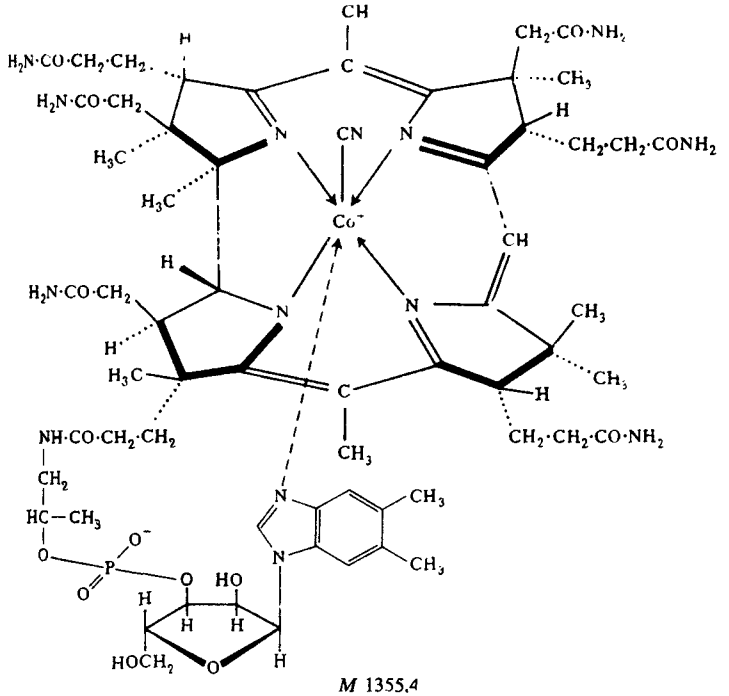


M 384,7

Тонкие иглы. $t_{пл}$ 84 ÷ 85. $[\alpha]_D$ +51,9 (c = 1,6 в $CHCl_3$). Раств-сть: р. EtOH, ац., эф., $CHCl_3$; н. р. H_2O. Спектры: в гексане или EtOH λ_{max} 265 нм, ε 18 200. Чувствителен к свету. На влажном возд. окисл. за несколько сут. Немного более уст., чем эргокальциферол, гораздо более уст., чем 7-дегидрохолестерол. При хранении более 1 года чистый крист. холекальциферол в стеклянных ампулах янтарного цвета при 0–4 °C незначительно разл. Уст. в виде раств. в пропиленгликоле или кукурузном масле, а также в виде эфиров 3,5-динитробензойной кисл. ($t_{пл}$ 129). Не осаждается дигитонином

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства

Цианокобаламин (витамин B_{12}; цианокоб(III)аламин; α-(5,6-диметилбензимидазолил)цианокобамид)

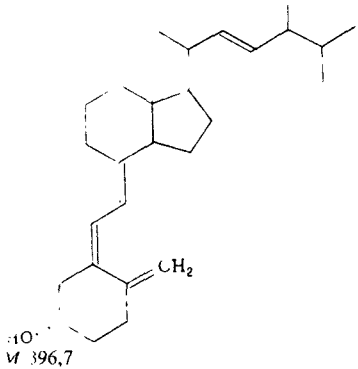
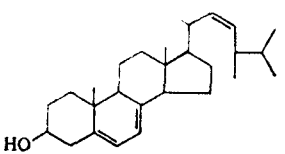


M 1355,4

Гигр. красные крист. + nH_2O (*n* варьирует). Темнеет при 210 ÷ 220, не плавится < 300, диамагнетик; $[\alpha]^{20}_{6438}$ −110 (*c* = 0,5 в H_2O). Раств-сть 1,2 H_2O; р спирты, алифатические кисл., фенолы: н. р. эф., ац., $CHCl_3$, пир. Спектр: в H_2O (pH 2 ÷ 10)

λ_{max}, нм	278	305	322	361	518	550
ε	16300	9700	7900	28100	7400	8700

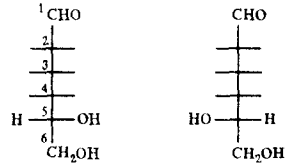
При контакте с возд. обычно содержит 10–12% H_2O, которая удаляется нагрев. при пониженном давл. Уст. в тв. состоянии в темноте. Водн. раств фотолабильны, при этом образуется гидроксикобаламин, длительная экспозиция вызывает необратимую деструкцию. Раств. наиболее уст. при pH 4–6; можно хранить несколько лет в темноте при комн. т. при этих pH и конц. >0,1 мкг/мл. Можно автоклавировать при 120 °C и pH 4–6, что сопровождается лишь небольшим разл. В сильнокисл. и особ. щел. раств. при комн. т. медл. гидрол. амидных гр.; витамин B_{12} полн. инактивируется при нагрев. в щел. раств. (0,1 M, 100 °C, 10 мин). Реагирует с цианидом при pH 10 с образованием пурпурного дицианокобаламина: λ_{max} 367 (ε 30 800), 550 и 580 нм (ε 9600). При химическом (H_2 + Pt) или электрохимическом восстановлении образуется коб(II)аламин (витамин B_{12r}), который также образуется фотолизом кофермента B_{12} и метилкобаламина. Коб(II)аламин: раств. коричневый; раств. окисл. на возд., но в тв. состоянии уст.; λ_{max} 311 (ε 27 500), 402 (ε 7500) и 473 нм (ε 9200). Восстановление с помощью $NaBH_4$, $CrCl_2$ при pH 9,5, Zn + HOAc дает коб(I)аламин (витамин B_{12s}, гидридокобаламин): серо-зеленый раств., разл. до коб(II)аламина + H_2 (период полупревращения 355 мин при pH 10, 87 мин при pH 8), на возд. мгновенно окисл. до коб(II)аламина; λ_{max} 280,5 (ε 29 100) 288 (ε 29 400), 386 (ε 28 000) и 545 нм (ε 2800). Получ. восстановленных соединений см. [Meth. Enzhymol. **18C**, 34, 52 (1971)]. См. обзор [Hogenkamp, in: Cobalamin: Biochemistry and Pathophysiology, ed. B. M. Babior, Wiley. 1975].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Эргокальциферол (витамин D_2; кальциферол; эркальциол)	 *M* 396,7	Бесц. призмы или иглы. $t_{пл}$ 121. $[\alpha]_D^{20}$ +106 (в EtOH). Раств-сть: 28^{26} EtOH; 25^{26} ац.; р. эф., $CHCl_3$; н. р. H_2O. Спектр: в EtOH или гексане λ_{max} 265 нм, ε 19400. Менее уст., чем эргостерол. Чувствителен к свету при любых усл. Окисл. на возд. за несколько сут. Низкая темп. и атм. инерт. газа замедляют, но не останавливают разложения. Можно хранить несколько мес. в вакууме в запаянных темных ампулах на хол. Уст. в раств., в пропиленгликоле или растительном масле или в виде эфиров различных нитробензойных кисл., напр. 3,5-динитробензоата ($t_{пл}$ 146 ÷ 148). Не осаждается дигитонином.
Эргостерол (эргостерин, провитамин D_2)	 *M* 396,6 Гидрат: *M* 414,7	Гидратированные пластинки или иглы $+1 \div 1{,}5H_2O$. $t_{пл}$ 168. $[\alpha]_D^{20}$ −135 ($c = 1{,}6$ в $CHCl_3$). Раств-сть: р. гор. $CHCl_3$, бенз.; м. р. MeOH, EtOH, эф., легкая фракция нефти; н. р. H_2O. Спектр: в EtOH λ_{max}, нм 262 271 282 293,5 ε 7700 11400 11900 6900 Полное удаление кристаллизационной H_2O почти невозможно. Окисл. на возд. Хранить в вакууме, в темноте и на хол. Образует умеренно растворимый дигитонид. Образует эргокальциферол (витамин D_2) при УФ-облучении.

7. Углеводы и родственные соединения

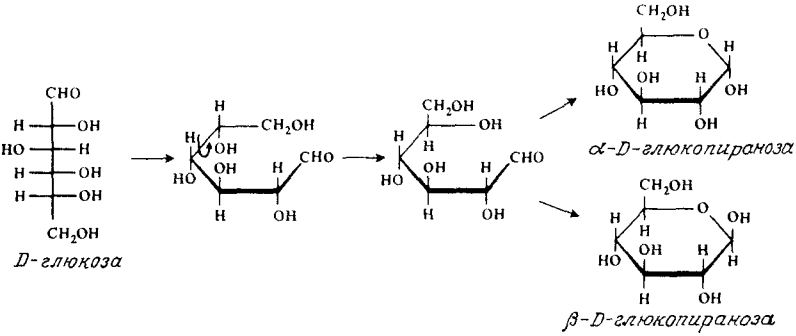
Номенклатура углеводов приведена в [BJ **125**, 673 (1971); EJB **21**, 455 (1971); BBA **244**, 223 (1971); JBC **247**, 613 (1971)].

Конфигурация моносахарида, обозначаемая буквами D и L, определяется конфигурацией старшего (имеющего наибольший номер) асимметрического атома углерода и сравнивается с известной конфигурацией глицеральдегида. D-Глицеральдегид имеет ту же абсолютную конфигурацию, что и D-серин и D-молочная кислота.



D-изомеры *L-изомеры*

Взаимосвязь проекционных формул Фишера открытых цепей сахаров и формул Хеуорса кольцевых форм сахаров показана ниже на примере D-глюкозы и ее пиранозной кольцевой формы.



D-глюкоза

Используемая литература

Pigman W. W., Horton D (eds.), The carbohydrates: chemistry and biochemistry, 2nd ed, Academic Press, vols. IA (1972), IB (1980), IIA (1970), IIB (1970).

Whistler R. L., et al (eds.), Methods in carbohydrate chemistry, Academic Press, vols. 1–5 (1962–1965), 6 (1972), 7(1976) and 8(1980).

Coffey S. (ed), Rodd's Chemistry of carbon compounds, 2nd ed, Elsevier, vol. 1F, 1967, Supplement 1FG (1983).

Tollens, Elsner, Kurzes Handbuch der Kohlenhydrate, J. A. Barth Verlag, Leipzig (1935).

Bates F. J. et al., Polarimetry, Saccharimetry, and the Sugars, U. S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Washington, D. C., 1942.

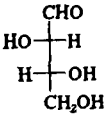
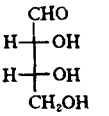
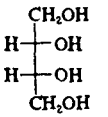
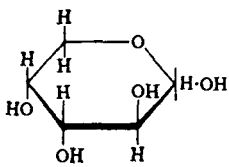
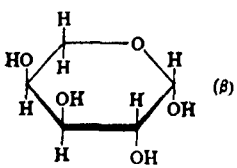
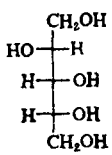
Beilstein's Handbuch der Organischen Chemie, vol. 31, Springer, Berlin, 1938.

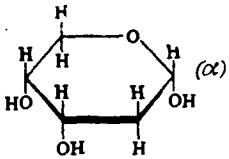
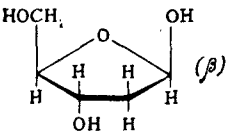
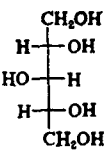
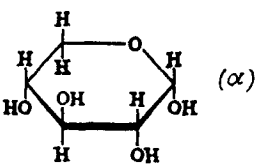
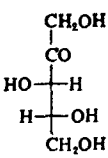
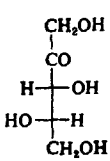
Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry (until 1968, Advances in Carbohydrate Chemistry), Academic Press, published annually, vol. 1 (1945), 41 (1983).

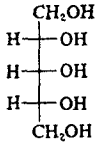
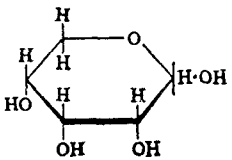
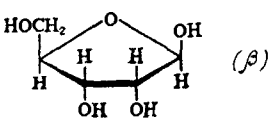
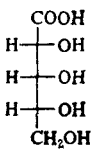
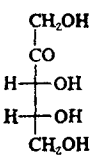
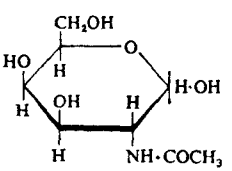
Сокращения и обозначения

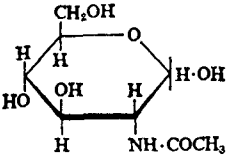
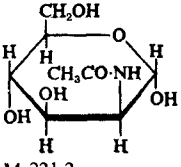
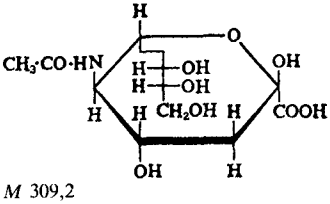
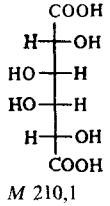
Знак → используется для обозначения мутаротации.

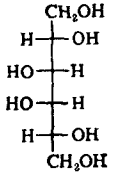
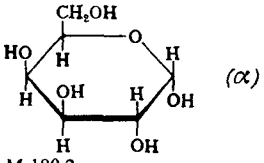
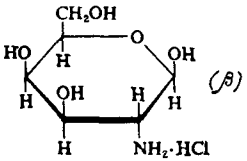
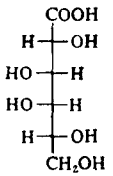
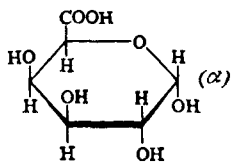
Meth. Carbohydr. Chem. означает, что цитируются данные из Whistler R. L. et al., (eds.), Methods in Carbohydrate Chemistry, Academic Press, vols. 1–8, 1962–1980.

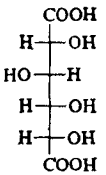
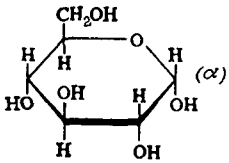
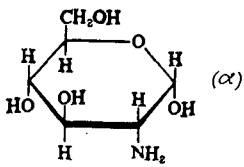
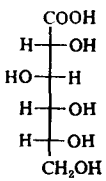
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Тетрозы и родственные соединения		
D-Треоза	 *M* 120,1	О. гигр. бесцв. иглы. $t_{пл}$ 126 ÷ 132. $[\alpha]_D^{27}$ − 12,9 (c = 2,3 в H_2O). Раств-сть: х. р. H_2O; р. MeOH; м. р. EtOH; н. р. эф., петр. эф. Получ. см.[JCS **1955**, 1212; Can. J. Chem. **34**, 541 (1956); Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 68 (1962)].
D-Эритроза	 *M* 120,1	Бесцв. сироп. $[\alpha]_D$ − 15,9 → − 23,1 (c = 1,9 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH, EtOH. Медл. на хол. восстанавливает жидкость Фелинга. Не сбраживается дрожжами. Получ. см. [JCS **1955**, 1212; JACS **81**, 2838 (1959); Can. J. Chem. **33**, 1216 (1955); Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 64 (1962)]
мезо-Эритрит (эритрит; *изо*-эритрит; 1,2,3,4-тетрагидроксибутан; бутантетрол-1,2,3,4)	 *M* 122,1	Бел. призмы. $t_{пл}$ 126. Оптически неактивен. Раств-сть: х. р. H_2O; р. гор. EtOH; м. р. хол. EtOH, пир.; н. р эф. Невосстанавливающий сахар. Сладкий вкус (в 2 раза слаще сахарозы).
Пентозы и родственные соединения		
D-Арабиноза	 *M* 150,1	Ромб. крист. $t_{пл}$ 159 ÷ 160. $[\alpha]_D$ − 175 → − 104,5 (c = 1 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф. Не сбраживается дрожжами.
L-Арабиноза (пектиноза)	 M 150,1	Получена β-форма. Ромб. крист. $t_{пл}$ 160. $[\alpha]_D$ + 190,6 → + 104,6 (c = 4,3 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф. Не сбраживается дрожжами.
D-Арабит (D-арабитол; D-арабинитол; D-лик ситол)	 *M* 152,1	Призмы. $t_{пл}$ 103. $[\alpha]_D^{20}$ + 7,82 (в нас. раств. буры). Раств-сть: х. р. H_2O; р 90%-ный EtOH Сладкий вкус.

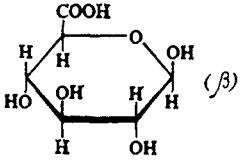
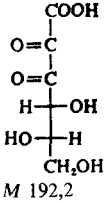
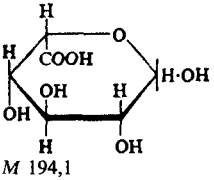
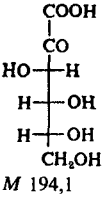
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
2-Дезокси-D-рибоза (2-D-рибодезоза; тимино-за; 2-дезокси-D-*эритро*-пентоза)	  *M* 134,1	Слабо гигр. крист. α: $t_{пл}$ 78 ÷ 82. $[\alpha]_D^{25}$ − 56 (в конечном растворе c = = 1 в H_2O). β; $t_{пл}$ 96 ÷ 98. $[\alpha]_D$ − −91 → −58 (c = 1 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH; о. п. р. изопропанол. Свободный сахар существует в виде кольцевой пиранозной формы, но в составе нуклеозидов принимает структуру фуранозного кольца. Положительная р-ция Молиша. Положительная р-ция Дише на дезоксисахара. Отрицательная антроновая р-ция. Лучше всего хранить в виде анилида ($t_{пл}$ 175–177); дезоксирибоза регенерируется под действием бензальдегида.
Ксилит	 *M* 152,1	Крист. $t_{пл}$ 93 ÷ 94,5 (уст. форма); 61 ÷ ÷ 61,5 (неуст. форма); оптически неактивен. Раств-сть: р. H_2O, гор. EtOH, MeOH. Самый сладкий из всех известных полиолов.
D-Ксилоза (древесный сахар)	 *M* 150,1	Получают в виде α-формы. Бел. иглы. $t_{пл}$ 145. $[\alpha]_D^{20}$ + 93,6 → + 18,8 (c = 4 в H_2O). Раств-сть: 125 H_2O; р. EtOH; пир., лед. укс. кисл.; н. р. эф. Не сбраживается дрожжами. О. сладкий вкус.
D-Ксилулоза (D-ксило-кетоза, D-ликсокетоза, D-*трео*-пентулоза)	 *M* 150.1	Сироп. $[\alpha]_D^{18}$ − 33,2 (c = 2,5 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Восстанавливает жидкость Фелинга на хол. Положительная р-ция Селиванова Получают и хранят в виде О-изопропилиденового производного: $t_{пл}$ 70 ÷ 71: $[\alpha]_D^{25}$ + 1,7 (в ац.). Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 94, 98 (1962); Meth. Enzymol. **9**, 39 (1966)]
L-Ксилулоза (L-ксилокетоза; L-ликсокетоза; L-*трео*-пентулоза; ранее известна как *d*-ксилулоза)	 *M* 150.1	Сироп. $[\alpha]_D^{20}$ + 33,1 (c = 2 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Восстанавливает жидкость Фелинга на хол. Положительная р-ция Селиванова. Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 98 (1962); J. Org. Chem. **30**, 458 (1965); Meth. Enzymol **9**, 39 (1966)].

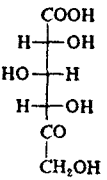
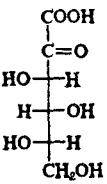
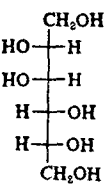
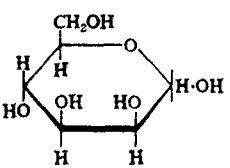
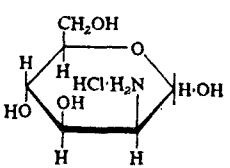
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Рибит (рибитол; адонитол)	 *M* 152,1	Крист. $t_{пл}$ 102. Оптически неактивен. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; н. р. эф. Невосстанавливающий сахар.
D-Рибоза	  *M* 150,1	О. гигр. крист. $t_{пл}$ 86 ÷ 87. $[\alpha]_D^1$ − 23,1 → − 23,7 ($c = 4$ в H_2O) (мутаротационный комплекс). Раств-сть: р. H_2O; о. п. р. EtOH. В составе соединений присутствует фуранозная форма. Раств. содержат смесь пиранозной и фуранозной форм. Нормальная крист. форма – β-D-рибопираноза. Не сбраживается обычными дрожжами.
D-Рибоновая кислота	 *M* 166,1	$t_{пл}$ 112 ÷ 113. $[\alpha]_D^{25}$ − 17,3 ($c = 4$ в MeOH). Раств-сть: р. H_2O, MeOH, EtOH. Неуст. при комн. т. 1,4-Лактон: $t_{пл}$ 72 ÷ 78; $[\alpha]_D$ + 18,4 (в H_2O).
D-Рибулоза (адоноза; D-рибокетоза; D-арабулоза; D-арабокетоза; D-*эритро*-пентулоза)	 *M* 150,1	Сироп. $[\alpha]_D^{21}$ − 16,3 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Положительная р-ция Селиванова. Восстанавливает жидкость Фелинга на хол. Получ. см. [Meth. Enzymol. **9**, 39 (1966); **41**, 103 (1975)].
Гексозы и родственные соединения		
N-Ацетил-D-галактозамин (N-*ацетилхондрозамин*; 2-ацетамид-2-дезокси-D-галактоза)	 *M* 221,2	α: крист. $t_{пл}$ 172 ÷ 173; $[\alpha]_D$ + 115 → → + 86 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Зафиксированы более низкие $t_{пл}$. Форма с $t_{пл}$ 120 ÷ 122, возможно, моногидрат. Дает положительную реакцию Моргана – Элсона. Получ. см. [JACS **76**, 301 (1954); **79**, 4737 (1957); Meth. Carbohydr. Chem. **7**, 32 (1976)].

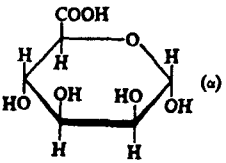
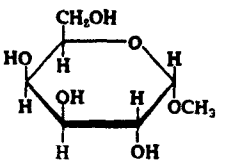
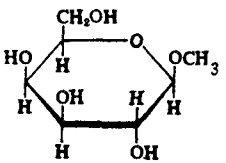
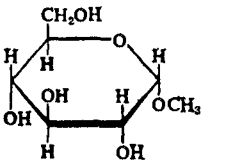
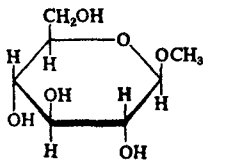
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
N-Ацетил-D-глюкозамин (2-ацетамид-2-дезокси-D-глюкоза)	 *M* 221,2	α: бесцв. иглы. $t_{пл}$ 205; $[\alpha]_D^{21}$ + 75 → → + 41 ($c = 2$ в H_2O). β: крист. $t_{пл}$ 182 ÷ 183,5. $[\alpha]_D$ − 22 → + 41,3 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Дает положительную р-цию Моргана–Элсона. Получ. см. [Biochem. Preps. **11**, 1 (1966)].
N-Ацетил-D-маннозамин (2-ацетамид-2-дезокси-D-манноза)	 M 221,2 Гидрат: *M* 239,2	Большие призмы + $1H_2O$. $t_{пл}$ 128 ÷ ÷ 129. $[\alpha]_D^{20}$ − 9,4 → + 9,7 ($c = 10$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Дает положительную р-пию Моргана–Элсона.
N-Ацетилнейраминовая кислота (сиаловая кислота; лактаминовая кислота; 5-ацетамид-3,5-дидезокси-D-глицеро-D-галактононулозоновая кислота)	 *M* 309,2	Крист. $t_{пл}$ 185 ÷ 187 (разл.) $[\alpha]_D^{22}$ − 32 ($c = 2$ в H_2O). pK_a 2,60. Раств-сть: р. H_2O, MeOH; м. р. EtOH; н. р. эф., ац., $CHCl_3$. Сиаловые кислоты – ацилированные производные нейраминовой кислоты. Все существующие в природе сиаловые кислоты содержат N-ацетильные или N-гликолильные заместители; некоторые из них содержат также одну или две O-ацетильные группы по O-9, O-7 или O-4. O-Ацетильные группы очень лабильны, они наиболее уст. при pH 3,5–4,5. N-Ацетильные группы более уст., наибольшая уст. наблюдается при pH 4,5, умеренно уст. в мягкой щел., напр. при pH 11 при 25°C. N-Гликолилнейраминовая кислота: $t_{пл}$ 189 ÷ 191 (разл.); $[\alpha]_D$ − 33,6 (в H_2O); pK_a 2,75. Получ. см. [Biochem. Preps. **7**, 1 (1960); Meth. Enzymol. **6**, 453 (1963); **8**, 131 (1966); **50**, 64 (1978); BBA **338**, 369 (1974); Ann. **659**, 156 (1962)].
D-Галактаровая кислота (слизевая кислота; сахарномолочная кислота; тетрагидроксиадипиновая кислота)	 *M* 210,1	Бесцв. крист. или бел. порошок. $t_{пл}$ 255 (225). Оптически неактивна. pK_a 3,08; 3,63. Раств-сть: 0,33[14] H_2O; р. щел.; умеренно р. эф., EtOH. Перекр. из H_2O. $t_{пл}$ сильно зависит от скорости нагрев. Восстанавливает аммиачный раств. $AgNO_3$, но не жидкость Фелинга.

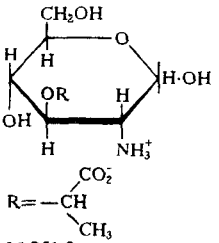
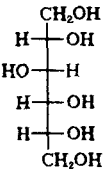
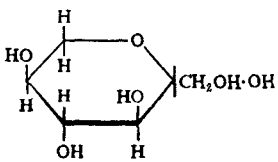
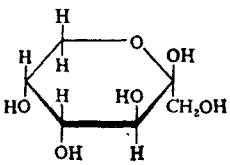
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Галактит (галактитол; дульцит; дульцитол; меламперин)	 *M* 182,2	Бесцв. монокл. призмы. $t_{пл}$ 188 ÷ 189. Оптически неактивен. Раств-сть: 3,0^{14} H_2O; умеренно р. EtOH, эф. Сладковатый вкус.
D-Галактоза (цереброза)	 *M* 180,2 Гидрат: *M* 198,2	α: призмы или иглы + 1H_2O из H_2O. $t_{пл}$ 118 ÷ 120. Безводн. пластинки из EtOH. $t_{пл}$ 168. $[\alpha]_D^{20}$ + 150,7 → + 80,2 (*c* = 5 в H_2O). β: крист. $t_{пл}$ 167. $[\alpha]_D^{20}$ + 52,8 → + 80,2 (*c* = 4 в H_2O). Раств-сть: 10^0, 68^{25} H_2O; о. л. р. MeOH; 5,45^{25} пир. Обычно получают α-форму.
D-Галактозамингидрохлорид (хондрозамингидрохлорид; гидрохлорид 2-амино-2-дезокси-D-галактозы)	 *M* 215,6 Свободное основание: *M* 179,2	α: иглы. $t_{пл}$ 185. $[\alpha]_D^{20}$ + 121 → + 95 (в H_2O). β: крист. $t_{пл}$ 187. $[\alpha]_D^{20}$ + 44,5 → + 95 (в H_2O). pK_a 7,70. Раств-сть: р. H_2O. Обычно получают β-форму. Восстанавливающий сахар. Положительная р-ция с нингидрином. Отрицательная р-ция Молиша.
D-Галактоиовая кислота (D-лактоновая кислота)	 *M* 196,2	Безводн. иглы из EtOH. $t_{пл}$ 148. + 1/2 H_2O из водн. EtOH. $t_{пл}$ 140 ÷ ÷ 142. + 2H_2O из H_2O. $t_{пл}$ 118 ÷ 120. $[\alpha]_D^{20}$ − 13 → − 46 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Дигидрат легко теряет H_2O при высушивании на возд. Соли обычно получают нейтрализацией γ-лактона. К-соль: крист. + 1H_2O; р. H_2O. Са-соль: крист. + 5H_2O; р. H_2O; теряет часть H_2O при 100°C. γ-Лактон (1,4-лактон): иглы + 1H_2O; $t_{пл}$ 66 (гидрат); 133–135 (безводн.). $[\alpha]_D^{20}$ − 77,4 → − 63,7 (безводн. в H_2O).
D-Галактуроновая кислота	 *M* 194,1 Гидрат: *M* 212,2	α: иглы + 1H_2O. Спекается 110 ÷ ÷ 111. $t_{пл}$ 159 ÷ 160 (разл.). $[\alpha]_D^{20}$ + 107,0 → + 51,9 (*c* = 4 гидрата в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, гор. EtOH; умеренно р. хол. EtOH; н. р. эф. β: безводн. $t_{пл}$ 160 (разл.). $[\alpha]_D^{20}$ + 31,1 → → + 56,7 (*c* = 4 безводн. в H_2O). Обычно получают α-форму или смесь α- и β-форм. Na-соль: получают в виде β-формы; крист.; $[\alpha]_D^{20}$ + 11,5 → + 36,0 (*c* = 4 в H_2O); р. H_2O, н. р. EtOH. Са-соль: получают в

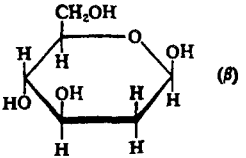
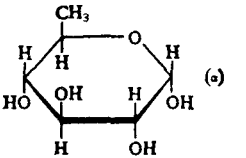
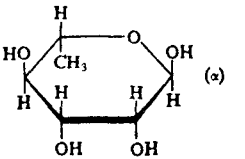
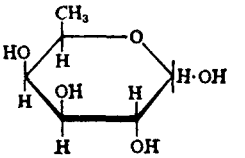
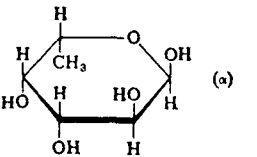
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		виде α-формы; крист. $+1H_2O$; $[\alpha]_D^{20}$ $+75{,}0 \rightarrow +36{,}8$ ($c = 1{,}4$ безводн. в H_2O); раств-сть $4{,}9^{20}$, 10^{100} H_2O, н. р. EtOH.
D-Глюкаровая кислота (D-сахарная кислота)	 *M* 210,1	Распл. иглы. $t_{пл}$ 125 ÷ 126 (разл.). $[\alpha]_D$ $+6{,}86 \rightarrow +20{,}6$ ($c = 2{,}8$ в H_2O). pK_a 3,01; 3,94. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; о. п. р. эф. Крист. самопроизвольно превращаются в смесь лактонов. Восстанавливает аммиачный раств. $AgNO_3$, но не жидкость Фелинга. Дилактон и метиловые эфиры монолактоиов восстанавливают жидкость Фелинга. 1,4-Лактон: $t_{пл}$ 98. 3,6-Лактон: $t_{пл}$ 144; $[\alpha]_D$ $+37{,}9 \rightarrow +22{,}5$ (в H_2O). 1,4-3,6-Дилактон: $t_{пл}$ 134. КН-соль: крист.; $[\alpha]_D^{20}$ $+5{,}1$ ($c = 0{,}8$ в H_2O).
D-Глюкоза (декстроза; виноградный сахар)	 *M* 180,2 Гидрат: *M* 198,2	α: пластинки $+1H_2O$ из H_2O. $t_{пл}$ 83. Безводн. крист. из MeOH. $t_{пл}$ 146. $[\alpha]_D^{20}$ $+112{,}2 \rightarrow +52{,}7$ ($c = 3{,}9$ безводн. в H_2O). Раств-сть: гидрат $32{,}3^0$, $82{,}0^{25}$ H_2O; м. р. EtOH, MeOH; н. р. эф., ац. β: крист. $t_{пл}$ 148 ÷ 150. $[\alpha]_D^{20}$ $+18{,}7 \rightarrow +52{,}7$ ($c = 3{,}9$ в H_2O). Раств-сть: 154^{15} H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф. Коммерческие препараты – обычно преимущественно моногидрат α-глюкозы. α-Глюкоза кристаллизуется в виде гидрата при темп. $< 50°C$, в безводн. форме $> 50°C$.
D-Глюкозамин (хитозамин; 2-амино-2-дезокси-D-глюкоза)	 *M* 179,2 Гидрохлорид: *M* 215,6	pK_a 7,75. α: бел. крист. порошок. $t_{пл}$ 88. $[\alpha]_D^{20}$ $+100 \rightarrow +47{,}5$ ($c = 1$ в H_2O). Раств-сть: х. р. H_2O; р. гор. MeOH; м. р. EtOH; н. р. эф., $CHCl_3$. Гидрохлорид: крист. $t_{разл.}$ 190–210. $[\alpha]_D$ $+100 \rightarrow +72{,}5$ ($c = 1$ в H_2O). Раств-сть: м. р. H_2O. β: иглы. $t_{пл}$ 120. $[\alpha]_D^{20}$ $+14 \rightarrow +47{,}5$ ($c = 1$ в H_2O). Гидрохлорид: $[\alpha]_D$ $+25 \rightarrow +72{,}5$ ($c = 1$ в H_2O). Обычно получают α-форму. Восстанавливающий сахар. Положительная р-ция с нингидрином. Отрицательная р-ция Молиша.
D-Глюконовая кислота (декстроновая кислота; мальтоновая кислота; гликогеновая кислота)	 *M* 196,2	Крист. $t_{пл}$ 132. $[\alpha]_D^{20}$ $-6{,}7 \rightarrow +12$ (в H_2O). pK_a 3,76. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф. Слегка кисл. вкус. В водн. раств. кислота частично превращается в смесь лактонов. Лактоны частично гидрол. до кисл. при раств. в H_2O. γ-Лактон (1,4-лактон): $t_{пл}$ 133 ÷ 135; $[\alpha]_D^{20}$ $+68 \rightarrow +17{,}7$ ($c = 5$ в H_2O). δ-Лактон (1,5-лактон): $t_{пл}$ 153; $[\alpha]_D^{25}$ $+66{,}7 \rightarrow$

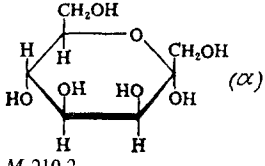
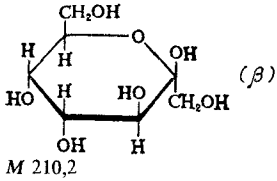
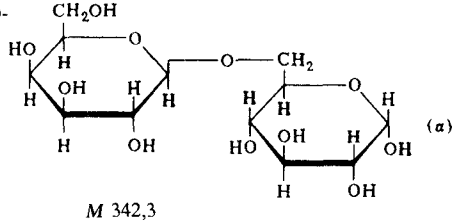
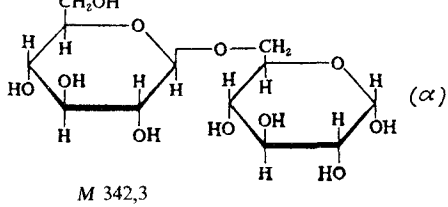
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		→ + 8,5 (c = 5 в H_2O); р. H_2O, м. р. EtOH; сладкий вкус. Na-соль: крист.; р. H_2O. Ca-соль: крист. + $2H_2O$; м. р. H_2O; н. р. EtOH.
D-Глюкуроновая кислота	 (β) *M* 194,1	Получают в виде β-формы. Иглы $t_{пл}$ 165 (разл.). $[\alpha]_D$ + 11,7 → 36,3 (в H_2O). pK_a 3,18. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. Перекр. обычно дает смесь кисл. и лактона. В водн. раств. кисл. и лактон взанмопревращаемы. Равновесие достигается медл. (2 мес) при комн. т., но быстро при высокой темп. (2 ч при 100°C). Равновесная смесь содержит при комн. т. 20% лактона, при 100°C 60%. Восстанавливает жидкость Фелинга. Na-соль: крист. + $1H_2O$; р. H_2O; теряет H_2O в вакууме над $CaCl_2$. K-соль: крист. + $2H_2O$; р. H_2O; теряет $1H_2O$ в вакууме над $CaCl_2$. 6 → 3-Лактон (D-глюкурон): пластинки; $t_{пл}$ 176–178; $[\alpha]_D^{20}$ + 19,2 (в H_2O); раств-сть: 26,9 H_2O, 2,8 MeOH, 0,7 EtOH; существует в фуранозной форме.
2,3-Дикето-L-гулоновая кислота (L-*трео*-2,3-гексодиулозоновая кислота; 2,3-диоксо-L-гулоновая кислота)	 *M* 192,2	Ва- и Са-соли аморфн. $[\alpha]_D^{22}$ − 6,8 (Ва-соль в 0,1 М HCl); − 8,3 (Са-соль в 0,1 М HCl). Раств-сть: р. H_2O. Свободная кисл. известна только в растворе. γ-Лактон–дегидроаскорбиновая кислота. Получ. см. [BJ **39**, 1 (1945); JBC **216**, 539 (1955)].
L-Идуроновая кислота	 *M* 194,1	Крист. $t_{пл}$ 131 ÷ 132. $[\alpha]_D^{25}$ + 37 → → + 33 (c = 3 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **2**, 32 (1962); **8**, 177 (1980)]. 6 → 3-Лактон: сироп. $[\alpha]_D^{18}$ +30 (в H_2O).
2-Кето-D-глюконовая кислота (2-оксо-D-глюконовая кислота; D-глюкозоновая кислота; фруктуроновая кислота; D-арабиногексулозоновая кислота)	 *M* 194,1	Сироп или гигр. крист. $[\alpha]_D$ − 99,6 (К-соль в HCl). Раств-сть: р. H_2O. Са-соль: крист. + $3H_2O$; $t_{пл}$ 153 (разл.); $[\alpha]_D^{20}$ − 70,8 (c = 2 в H_2O); р. H_2O.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
5-Кето-D-глюконовая кислота (5-оксо-D-глюконовая кислота; L-сорбуроновая кислота; D-ксилогексулозоновая кислота)	 *M* 194,1	Неуст. Чернеет и выделяет газ. $[\alpha]_D^{20}$ − 14,4 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Восстанавливает жидкость Фелинга. Са-соль: крист. + $3H_2O$; $[\alpha]_D$ − 11,7 (в разб. HCl); раств-сть: 0,2 H_2O.
2-Кето-L-гулоновая кислота (2-оксо-L-гулоновая кислота; L-ксило-2-гексулозоновая кислота)	 *M* 194,1	Крист. + $1H_2O$. $t_{пл}$ 171. $[\alpha]_D$ − 48 (c = 1 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. В раств. гл. обр. соединение с 2,6-лактольным кольцом и очень немного свободной кисл. В тв. состоянии – либо свободная кисл., либо 1,4-лактон, оба + $1H_2O$. Быстро восстанавливает жидкость Фелинга при кипячении. 1,4-Лактон – оксо-таутомер аскорбиновой кислоты.
D-Маннит (D-маннитол)	 *M* 182,2	Иглы. $t_{пл}$ 166 ÷ 168. $[\alpha]_D$ + 28,6 (в раств. буры). Раств-сть: 15,6[18] H_2O; р. гор. EtOH; м. р. пир.; н. р. эф. Сладковатый вкус.
D-Манноза (семиноза; карубиноза)	 *M* 180,2	Получают в виде α- и β-формы. α: крист. масса $t_{пл}$ 133. $[\alpha]_D^{20}$ + 29,3 → → + 14,2 (c = 4 в H_2O). β: Иглы. $t_{пл}$ 132. $[\alpha]_D^{20}$ − 17,0 → + 14,2 (c = 4 в H_2O). Раств-сть: 248[17] H_2O; умеренно р. EtOH, MeOH; н. р. эф.
D-Маннозаминдигидрохлорид	 *M* 215,6 Свободное основание: *M* 179,2	Крист. $t_{пл}$ 178 ÷ 180. $[\alpha]_D^{20}$ − 4,6 (c = = 10 в 5%-ной HCl). pK_a 7,28. Раствсть: р. H_2O, MeOH. Восстанавливающий сахар.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
D-Маннуроновая кислота (маннурон)	 (α) *M* 194,1	α: о. гигр. микроиглы $+1H_2O$. Спекается при 110. Темнеет при 120–130. $[\alpha]_D^{25}$ $+16{,}01 \rightarrow -6{,}05$ (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. β: микрокрист. $t_{пл}$ 165 ÷ 167. $[\alpha]_D^{25}$ $-47{,}9 \rightarrow -23{,}94$ (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Легко образует 6 → 3-лактон. Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **2**, 35 (1963); JCS **1944**, 587]. 6 → 3-Лактон (D-маннурон): крист. $t_{пл}$ 197 ÷ 199; $[\alpha]_D^{21}$ $+71 \rightarrow +92$ ($c = 1$ в H_2O). Na-соль: крист. порошок; р. H_2O. K-соль: крист. $+1H_2O$; р. H_2O.
α-Метил-D-галактопиранозид (α-метилгалактозид)	 *M* 194,2 Гидрат: *M* 212,2	Иглы $+1H_2O$: $t_{пл}$ 111 ÷ 112 (безводн.). $[\alpha]_D$ +196 (в H_2O, безводн. форма). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Невосстанавливающий сахар.
β-Метил-D-галактопиранозид (β-метилгалактозид)	 *M* 194,2	Крист. $t_{пл}$ 178 ÷ 180. $[\alpha]_D$ +0,61 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Невосстанавливающий сахар.
α-Метил-D-глюкопиранозид (α-метилглюкозид)	 *M* 194,2	Крист. масса. $t_{пл}$ 168. $[\alpha]_D^{20}$ +158 ($c = 10$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH, гор. EtOH. Невосстанавливающий сахар.
β-Метил-D-глюкопиранозид (β-метилглюкозид)	 *M* 194,2	Крист. $+1/2\ H_2O$. $t_{пл}$ 110 (безводн.). $[\alpha]_D$ −31 ($c = 8$ в H_2O, на безводн. форму). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Невосстанавливающий сахар.

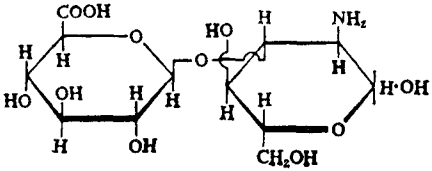
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Мурамовая кислота (2-амино-3-О-(1-карбоксиэтил)-2-дезокси-D-глюкоза)	 *M* 251,2 Гидрат: *M* 269,2	Крист. $+1H_2O$ из водн. EtOH. $t_{пл}$ 152 ÷ 154 (разл.). $[\alpha]_D^{20}$ + 155 → +110 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH; о. п. р. EtOH. Природный изомер – α-форма. Восстанавливающий сахар. Положительная р-ция Моргана – Элсона. Получ. см. [Biochem. Preps. **10**, 106, 109 (1963); Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 250 (1962); JCS **1965**, 2975; J. Org. Chem. **30**,448 (1965)]. N-Ацетильное производное: $t_{пл}$ 119–120; $[\alpha]_D^{20}$ + 60 → + 40 (*c* = 1,2 в H_2O).
Сорбит (D-сорбитол; D-глюцитол; глюцит)	 *M* 182.2 Гидрат: *M* 200,2	Иглы $+1H_2O$. М. гигр. $t_{пл}$ 75 (гидрат); 97 (безводн.). $[\alpha]_D$ – 2,0 (в H_2O); + 6,5 (в раств. буры); + 30,9 (в NH_4-молибдате). Раств-сть: х. р. H_2O; р. гор. EtOH; о. п. р. хол. EtOH; н. р. эф. Сладкий вкус (60% по ср. с сахарозой).
L-Сорбоза (L-сорбиноза; 2-оксо-L-ксилогексоза)	 *M* 180,2	Ромб. крист. $t_{пл}$ 165. $[\alpha]_D^{20}$ – 43,7 → → – 43,4 (*c* = 12 в H_2O) (мутаротационный комплекс). Раств-сть: 55^{17} H_2O; умеренно р. гор. EtOH, MeOH. Не сбраживается дрожжами. Положительная р-ция Селиванова. Сладость, как у сахарозы.
D-Фруктоза (левулоза; фруктовый сахар)	 *M* 180,2	Получают в виде β-формы. О. гигр. бесцв. призмы или иглы. $t_{пл}$ 103 ÷ 105 (разл.). $[\alpha]_D^{20}$ – 132,2 → – 92,4 (*c* = 4 в H_2O). Раств-сть: 375^{20}, 740^{55} H_2O; р. MeOH, EtOH, пир., ац., лед. укс. кисл. Безводн. форма уст. при темп. > 21,4°C. Способна гидратироваться с образованием полугидрата (и дигидрата) при темп. < 20°C. Перекр. из MeOH. Положительная реакция Селиванова. Крист. сахар – β-D-пираноза, но в раств. содержится ⩾ 15% фуранозной формы и значит. кол-во открытой линейной формы. В составе соединений найдена только фуранозная форма. Сладкий вкус.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Дезоксигексозы		
2-Дезокси-D-глюкоза (D-2-глюкодезоза; 2-дезокси-D-арабиногексоза)	 (β) *M* 164,2	Получают в виде β-формы. Крист. $t_{пл}$ 148. $[\alpha]_D^{17}$ + 38,5 → + 45,9 (c = 0,5 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, EtOH. Получена также α-форма.
6-Дезокси-D-глюкоза (D-глюкометилоза; D-изорамноза; D-эпирамноза; изородеоза; чиновоза; квиновоза)	 (α) *M* 164,2	Получают в виде α-формы. Крист. $t_{пл}$ 146. $[\alpha]_D^{20}$ + 73,3 → + 29,7 (c = 8 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, EtOH; н. р. эф., ац. Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 198 (1962); **6**, 177 (1972); Carbohydr. Res. **36**, 392 (1974)].
L-Рамноза (L-маниометилоза; 6-дезокси-L-манноза)	 (α) *M* 164,2 Гидрат: *M* 182,2	α: бесцв. крист. + 1H_2O из H_2O. $t_{пл}$ 94. $[\alpha]_D^{20}$ − 8,6 → + 8,2 (c = 4 гидрата в H_2O). β: безводн., иглы из ац. Гигр. $t_{пл}$ 123 ÷ 126. $[\alpha]_D^{20}$ + 38,4 → + 8,9 (c = 4 в H_2O). Раств-сть: 57^{18}, 109^{40} H_2O; р. EtOH, MeOH; н. р. эф., бенз. Не сбраживается дрожжами. О. сладкий вкус. Гидрат α-аномера теряет H_2O и при нагрев. превращается в β-форму. β-Аномер превращается в α на влажном возд.
D-Фукоза (D-родеоза; D-галактометилоза; 6-дезокси-D-галактоза)	 *M* 164,2	α: иглы. $t_{пл}$ 145. $[\alpha]_D^{20}$ + 153 → + 76 (c = 4 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH: н. р. эф. Не сбраживается дрожжами. Сладкий вкус.
L-Фукоза (L-родеоза; L-галактометилоза; 6-дезокси-L-галактоза)	 (α) *M* 164,2	Получают в виде α-формы. Иглы. $t_{пл}$ 145. $[\alpha]_D^{20}$ − 152,6 → − 75,9 (c = 4 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH. Не сбраживается дрожжами.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Гептозы и родственные соединения		
D-Манногептулоза (D-маннооксогептоза)	 (α) *M* 210,2	Призмы. $t_{пл}$ 152. $[\alpha]_D$ + 29,2 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; умеренно р. EtOH. Не сбраживается дрожжами. Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 173, 175 (1962)].
Седогептулоза (D-альтрогептулоза)	 (β) *M* 210,2	Сироп. $[\alpha]_D$ + 8,2 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; умеренно р. EtOH. В раств., особ. в кисл., сахар образует ангидросоединение (седогептулозан). Не сбраживается дрожжами. Седогептулозан (2,7-ангидро-D-альтрогептулоза): призмы. + $1H_2O$; $t_{пл}$ 101 ÷ 102; безводн. призмы из MeOH; $t_{пл}$ 155 ÷ ÷ 156; $[\alpha]_D^{20}$ − 146 (c = 2 безводн. в H_2O); р. H_2O. Невосстанавливающий сахар. Безводн. форма уст. при хранении в эксикаторе, гидрат уст. на возд. В раств. уст. к щел.; в кисл. частично гидрол. до седогептулозы (9% седогептулозы при 20°C). Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 167 (1962)].
Олигосахариды		
Аллолактоза (6-O-β-D-галактопиранозил-D-глюкопираноза)	 (α) *M* 342,3	Иглы. $t_{пл}$ 174 ÷ 176 (разл.). $[\alpha]_D^{18}$ + 54,2 → + 30,7 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Получ. см. [Ber. **66**, 806 (1933); Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 303 (1962)].
Гентиобиоза (амигдалоза; 6-O-β-D-глюкопиранозил-D-глюкопираноза)	 (α) *M* 342,3	α: крист. + 2MeOH. $t_{пл}$ 86; $[\alpha]_D^{20}$ + 21,4 → + 8,7 (c = 5 алкоголята в H_2O). β: крист. $t_{пл}$ 190 ÷ 195. $[\alpha]_D^{20}$ − 11 → + 9,6 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, гор. EtOH, гор. MeOH. Обычно получают в виде β-формы. Восстанавливающий сахар. Не сбраживается дрожжами верхового брожения.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства

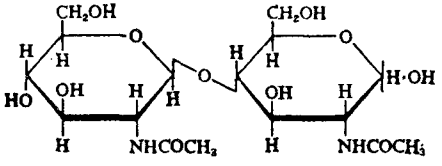
Гиалобиуроновая кислота (2-амино-2-дезокси-3-О-(β-D-глюкопиранозилуроновая кислота)-D-глюкопираноза)



M 355,3
Гидрат: *M* 373,3

Крист. + $1H_2O$; теряет H_2O над P_2O_5 при 80°С. $t_{пл}$ 190 (разл.). $[\alpha]_D$ + 22,5[23] (*c* = 1 в 1,0 М HCl); + 34 → + 30[24] (*c* = 1 в 0,1 М HCl). Раств-сть: р. разб. кисл. Восстанавливающий сахар. Получ. см. [JBC **205**, 205 (1953); JACS **84**, 3029, 3030 (1962)]. N-Ацетил: $[\alpha]_D$ + 31 до + 32 (в H_2O).

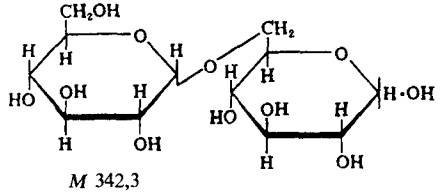
N, N′-Диацетилхитобиоза (хитобиоза; 2-ацетамидо-2-дезокси-4-О-(2-ацетамидо-2-дезокси-β-D-глюкопиранозил)-D-глюкопираноза)



M 424,4

Крист. $t_{пл}$ 245 ÷ 247 и 260 ÷ 264. $[\alpha]_D^{27}$ + 32,3 → + 16,0 (*c* = 0,74 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Восстанавливающий сахар; выделен, но не охарактеризован сахар, не содержащий ацетильной группы. Получ. см. [Biochem. Preps. **13**, 14 (1971); BBA **83**, 245 (1964); Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 305 (1962)].

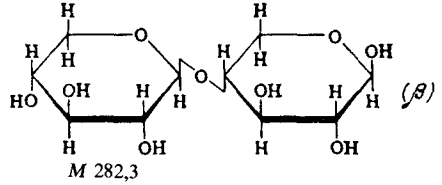
Изомальтоза (брахиоза; 6-О-α-D-глюкопиранозил-D-глюкоза)



M 342,3

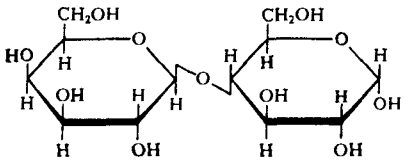
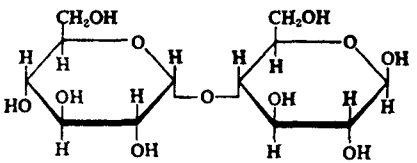
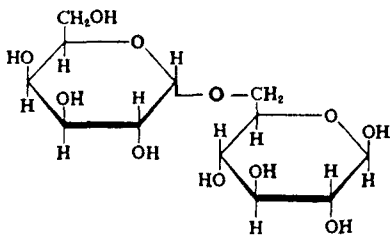
Аморфн. $t_{пл}$ 120. $[\alpha]_D^{25}$ + 119 → + 122 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Восстанавливающий сахар: не сбраживается дрожжами. Получ. см. [Biochem. Preps. **10**, 86 (1963); Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 316, 319 (1962)].

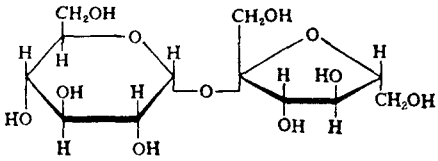
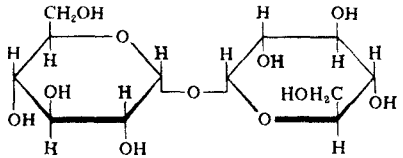
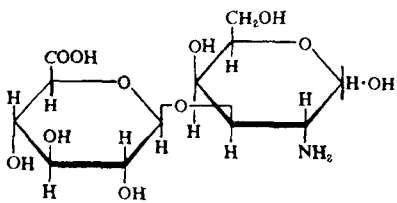
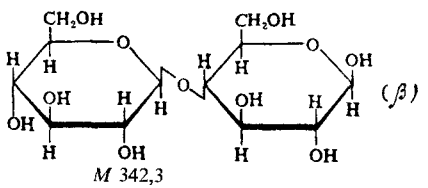
Ксилобиоза (4-О-β-D-ксилопиранозил-β-D-ксилоза)



M 282,3

Крист. $t_{пл}$ 186 ÷ 187. $[\alpha]_D^{25}$ − 32 → → − 25 (*c* = 1 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Восстанавливающий сахар. Не сбраживается дрожжами. Получ. см. [JACS **74**, 3059, 3609 (1952); JCS **1961**, 3674; J. Org. Chem. **26**, 4609 (1961)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Лактоза (молочный сахар; лактобиоза; 4-O-β-D-галактопиранозил-D-глюкопираноза)	 (α) *M* 342,3 Гидрат: *M* 360,3	α: крист. + $1H_2O$. $t_{пл}$ 202 (гидрат); 223 (безводн.). $[\alpha]_D^{20}$ + 85,0 → + 52,6 (*c* = 7,6 гидрата в H_2O); + 89,4 → → + 55,4 (безводн. основание). β: безводн. $t_{пл}$ 252. $[\alpha]_D^{20}$ + 34,9 → + 55,4 (*c* = 4 в H_2O). Раств-сть: 21,6[25], 139[89] H_2O; м. р. лед. укс. кисл.; н. р. MeOH, EtOH, эф. Обычно получается в виде моногидрата α-лактозы, который теряет H_2O при 130°C и при 70°C в вакууме. Безводн. α- и β-формы гигр. Восстанавливающий сахар. Сбраживается лактозными дрожжами и адаптированными к лактозе дрожжами.
Мальтоза (мальтозный сахар; мальтобиоза; 4-O-α-D-глюкопиранозил-D-глюкопираноза)	 (β) *M* 342,3 Гидрат: *M* 360,3	Получают в виде β-формы. Тонкие иглы + $1H_2O$. $t_{пл}$ 102 ÷ 103 (гидрат); 160 ÷ 165 (безводн.). $[\alpha]_D^{20}$ + 111,7 → → + 130,4 (*c* = 4 гидрата в H_2O). Раств-сть: 108[20] H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф. Восстанавливающий сахар. Сбраживается дрожжами в присутствии глюкозы.
Мелибиоза (6-O-α-D-галактопиранозил-D-глюкопираноза)	 (β) *M* 342,3 Дигидрат: *M* 378,3	α: крист. + $1H_2O$. $t_{пл}$ 179 ÷ 181. $[\alpha]_D^{23}$ + 157 → + 137 (*c* = 1 гидрата в H_2O). β: крист. + $2H_2O$. $t_{пл}$ 82 ÷ 85 (разл.). $[\alpha]_D^{20}$ + 111,7 → + 129,5 (*c* = 4 гидрата в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; о. п. р. EtOH. Первоначально получен в виде β-аномера, но коммерческие препараты могут быть в виде α-формы. Восстанавливающий сахар. Сбраживается дрожжами низового брожения, но, как правило, не дрожжами верхового брожения.
Раффиноза (6[Gal]-α-галактозилсахароза)	α-D-Галактозил-*p*-(1 → 6)-α-D-глюкозил-*p*-(1 → 2)-β-D-фруктозид *f* *M* 504,4 Гидрат: *M* 594,5	Бел. призмы + $5H_2O$. $t_{пл}$ 78 (гидрат); 118 ÷ 120 (безводн.). $[\alpha]_D^{20}$ + 104,8 (гидрат в H_2O). Раств-сть: 14,3[20] H_2O; 9,8 MeOH; х. р. пир.; н. р. EtOH. Невосстанавливающий сахар. Сбраживается дрожжами низового брожения.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Сахароза (тростниковый сахар; 1-O-α-D-глюкопиранозил-β-D-фруктофуранозид)	 *M* 342,3	Существует в А- и В-формах. А: крист. из EtOH и большинства раств-лей. $t_{пл}$ 188. В: крист. из MeOH. $t_{пл}$ 169 ÷ ÷ 170. $[\alpha]_D^{20}$ + 66,53 (c = 26 в H_2O). Раств-сть: 180^0, 197^{15}, 487^{100} H_2O; м. р. EtOH, MeOH; н. р. эф., бенз., ац., $CHCl_3$. А-форма уст. крист. форма. Невосстанавливающий сахар. Сбраживается дрожжами. Щел. раств. диазоурацила становится сине-зеленым только в присутствии сахарозы или других олигосахаридов, имеющих в качестве компонента сахарозу, напр. раффинозы (реакция Рейбина).
Стахиоза (люпеоза; 6^{Gal}-α-галактозилраффиноза)	α-D-Галактозил-*p*-(1 → 6)-α-D-галактозил-*p*-(1 → 6)-α-D-глюкозил-*p*-(1 → 2)-β-D-фруктозид *f* *M* 666,6 Гидрат: *M* 738,7	Тонкие крист. + $4H_2O$. $t_{пл}$ 101 ÷ 105 (гидрат). $[\alpha]_D^{25}$ + 132 (c = 9 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Невосстанавливающий сахар. Получ. см. [Meth. Carbohydr. Chem. **1**, 368 (1962)].
α, α-Трегалоза (мукоза; 1-O-α-D-глюкопиранозил-α-D-глюкопиранозид)	 *M* 342,3 Гидрат: *M* 378,3	Крист. + $2H_2O$. $t_{пл}$ 97. Безводн. $t_{пл}$ 203. $[\alpha]_D$ + 178,3 (c = 7 в H_2O). Раствсть: р. H_2O, гор. EtOH; н. р. эф. Невосстанавливающий сахар. Сбраживается многими дрожжами.
Хондрозин (2-амино-2-дезокси-3-O-(β-D-глюкопиранозилуроновая кислота)-D-галактопираноза)	 *M* 355,3	Тонкие иглы. $[\alpha]_D^{24}$ + 42 (c = 2 в H_2O); + 40 (c = 1 в 0,05 М HCl). Раствсть: р. разб. кисл. Восстанавливающий сахар. Получ. см. [JACS **74**, 1491 (1952); **76**, 5686 (1954); **84**, 3029 (1962)]. N-Ацетилхондрозин: $[\alpha]_D^{25}$ + 32,5 (в H_2O); получ. см. [JBC **240**, 992 (1965)].
Целлобиоза (целлоза; 4-O-β-D-глюкопиранозил-D-глюкопираноза)	 *M* 342,3	Получают в виде β-формы. Бесцв. иглы; темнеет при 180, разл. 225. $[\alpha]_D^{20}$ + 14,2 → + 34,6 (c = 8 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O; н. р. EtOH, эф. Восстанавливающий сахар. Не сбраживается дрожжами.

Нуклеозиддифосфосахара

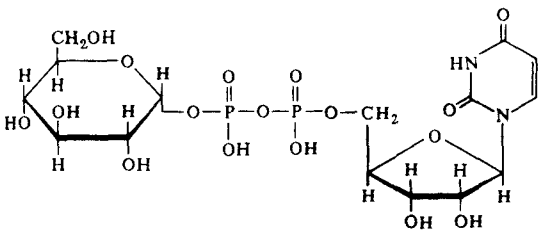
Нуклеозиддифосфатные производные большинства наиболее распространенных сахаров имеют сходную общую структуру и обладают очень близкими химическими и физическими свойствами. Характерные свойства нуклеозиддифосфосахаров, а также типичные примеры таких соединений включены в «Обзор свойств». Индивидуальные родственные нуклеотидные производные соединений углеводов, имеющие отличные (от приведенной) структуры и/или свойства, рассмотрены далее отдельно. См. обзоры [Adv. Carbohydr. Chem. Biochem. **28**, 307 (1973); **26**, 352 (1971)].

Соединение (синонимы)	Структура	Свойства

Обзор свойств

Нуклеозиддифосфосахара (NDP-сахар; нуклеозид-5′-дифосфосахар; нуклеозиддифосфатсахар; нуклеозид-5′-(сахарпирофосфат))

Например:

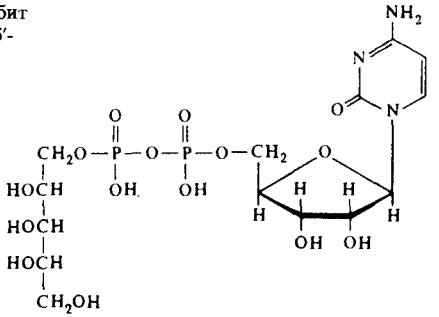
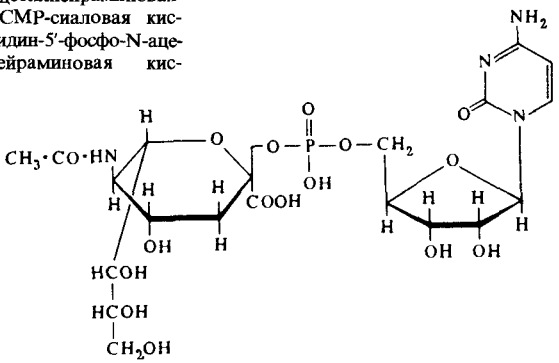


уридин-5′-дифосфо-α-D-глюкопираноза (UDP-глюкоза)

Структура: у природных соединений нуклеозидным остатком могут быть аденозин, гуанозин, цитидин, уридин или (дезокси)тимидин. Сахар связан с фосфатной группой через аномерный атом углерода, напр. С-1 у альдоз и их производных. У природных соединений гликозидная связь обычно имеет α-конфигурацию для D-сахаров и β-конфигурацию для L-сахаров. Обычно сахарное кольцо – пираноза. *Раств-сть:* р. H_2O; н.р. MeOH, EtOH, эф., ац. *Спектр:* спектр аналогичен спектру соответ. нуклеозиддифосфатного остатка. *Уст:* сахарофосфатный узел в нуклеозиддифосфосахарах менее уст. к кисл. обработке, чем у соответ. сахаро-1-фосфата. Полн. гидрол. 0,01 М HCl при 100°С за 10–15 мин с образованием нуклеозид-5′-дифосфата и сахара. Более длительное время инкубации или более сильн. кисл. (напр., 1 М HCl, 100°С, 15 мин) дает нуклеозид-5′-фосфат, P_i и сахар. Щел. гидрол. (напр., pH 8,5 100°С, 2 мин или конц. NH_3 0°С, 30 мин) UDP-α-D-глюкозы приводит к образованию уридин-5′-фосфата и глюкозо-1,2-циклофосфата. Соединения, которые могут образовывать 1,2-циклофосфаты, лабильны в щел., другие из-за отсутствия 2-гидроксила или стерически неблагоприятного взаимного расположения заместителей у С-1 и С-2 (напр., NDP-α-D-манноза) уст. в щел. Тв. соли (Na, K, Li, Ba и др.) гигр., но уст. при хранении в сухом виде при ⩽4°С. *Получение:* большинство нуклеозиддифосфосахаров можно синтезировать химическими методами [JACS **83**, 659 (1961); Meth Enzymol. **8**, 136, 142 (1966); BBA **91**, 1 (1964); Analyt. Biochem. **13**, 405 (1965)]. Ниже при рассмотрении индивидуальных соединений при необходимости цитирована литература, касающаяся методов их выделения, а также получения с помощью ферментативных методов.

Название (сокращение)	*M*	Свойства
Некоторые индивидуальные соединения		
Аденозин-5′-дифосфо-α-D-глюкопираноза (ADP-глюкоза)	*M* 589,3	Лабильна в щел. с образованием AMP и глюкозо-1,2-циклофосфата. Синт. ферментативно из ATP и α-D-глюкозо-1-фосфата. Участвует в синт. крахмала. Получ. см. [ABB **106**, 371 (1964); Meth. Enzymol. **28**, 279 (1972)].
Гуанозин-5′-дифосфо-α-D-глюкопираноза (GDP-глюкоза)	*M* 605,3	Получ. см. [JBC **237**, 1260 (1960)].
Гуанозин-5′-дифосфо-α-D-маннопираноза (GDP-манноза)	*M* 605,3	Уст. к мягкой щел. обработке. Образуется ферментативно из GTP и α-D-маннозо-1-фосфата. Получ. см. [Meth. Enzymol. **6**, 777 (1963); **8**, 145 (1966); **28**, 281 (1972); Anal. Biochem. **18**, 464 (1967); ABB **122**, 17 (1967)].
Гуанозин-5′-дифосфо-β-L-фукоза (GDP-фукоза)	*M* 589,3	Образуется путем NADPH-зависимого восстановления GDP-маннозы. Получ. см. [JBC **243**, 1110 (1968); **246**, 5154 (1971); Meth. Enzymol. **8**, 293 (1966); **28**, 285 (1972)].
Тимидин-5′-дифосфо-α-D-глюкопираноза ((d)TDP-глюкоза)	*M* 564,4	Образуется из TTP и глюкозо-1-фосфата. Получ. см. [JBC **236**, 1791 (1961); **237**, 3014 (1962); Meth. Enzymol. **28**, 287 (1972)].
Тимидин-5′-дифосфо-β-L-рамноза ((d)TDP-рамноза)	*M* 548,4	Лабильна в щел., образуя (d)TMP и L-рамнозо-1,2-циклофосфат. Образуется ферментативно из TDP-глюкозы. Получ. см. [BBA, **44**, 478 (1960); BJ **81**, 114 (1961); JBC **236**, 1795 (1961)].
Уридин-5′-дифосфо-2-ацетамидо-2-дезокси-α-D-галактопираноза (UDP-N-ацетилгалактозамин)	*M* 607,4	$[\alpha]_D^{25}$ +81,7 (c = 0,8 Li-соль в H_2O). Уст. в мягких щел. усл. Получ. см. [Biochem. **3**, 402 (1964); Meth. Enzymol. **8**, 147 (1966); **28**, 271, 274 (1972); Anal. Biochem. **91**, 490 (1978)].
Уридин-5′-дифосфо-2-ацетамидо-2-дезокси-α-D-глюкопираноза (UDP-N-ацетилглюкозамин)	*M* 607,4	$[\alpha]_D^{25}$ +54,6 (c = 1,0 безводн. Li-соль в H_2O). Уст. к щел. гидрол. Получ. см. [Meth. Enzymol. **6**, 777 (1963); **28**, 271 (1972); Meth. Biochem. Anal. **10**, 107 (1962); Anal. Biochem. **91**, 490 (1978)].
Уридин-5′-дифосфо-α-D-галактопираноза (UDP-галактоза)	*M* 566,4	Лабильна в щел. Образуется ферментативно путем эпимеризации UDP-глюкозы или из UTP и α-D-галактозо-1-фосфата. Получ. см. [JACS **81**, 6514 (1959); Anal. Biochem. **8**, 362 (1964); J. Biochem. Tokyo **56**, 145 (1964)].
Уридин-5′-дифосфо-α-D-галактуроновая кислота (UDP-галактуроновая кислота)	*M* 580,3	Образуется ферментативно путем эпимеризации UDP-глюкуроновой кислоты. Получ. см. [ABB **78**, 401 (1958); PNAS **54**, 1626 (1965); JBC **235**, 910 (1960)].
Уридин-5′-дифосфо-α-D-глюкопираноза (UDP-глюкоза)	*M* 566,4	Образуется ферментативно из UTP и α-D-глюкозо-1-фосфата. Получ. см. [BBA, **26**, 146 (1957); **104**, 594 (1965); Meth. Enzymol. **6**, 777 (1963); Biochem. Preps. **8**, 125 (1961)].

Название (сокращение)	*M*	Свойства
Уридин-5′-дифосфо-α-D-глюкуроновая кислота (UDP-глюкуроновая кислота)	*M* 580,3	$[\alpha]_D^{25}$ +54,5 ($c = 1$ безводн. Li-соль в H_2O). pK_a (COOH) 4,4. В тв. состоянии медл. разл. при комн. т. Гидрол. 0,01 M HCl при 100°C за 15 мин дает гл. обр. UDP + глюкуроновую кислоту, а также небольшие кол-ва UMP и глюкуроновой кислоты-1-фосфата. Получ. см. [ABB **78**, 401 (1958); JBC **235**, 910 (1960); Biochem. **1**, 1171 (1961)].
Уридин-5′-дифосфо-α-D-ксилопираноза (UDP-ксилоза)	*M* 536,3	Образуется ферментативно из UTP и α-D-ксилозо-1-фосфата или (наряду с UDP-L-арабинозой) в результате декарбоксилирования UDP-глюкуроновой кислоты. Получ. см. [JBC. **223**, 977 (1956); Meth. Enzymol. **6**, 782 (1963)].

Соединение	Формула и молекулярная масса	Свойства
Другие родственные нуклеотиды		
Цитидин-5′-дифосфорибит (CDP-рибит; цитидин-5′-(L-рибит-1-дифосфат))	 *M* 537,3	Участвует в синт. тейхоевых кисл. в грамположительных бактериях. Очень лабилен и в кисл., и в щел. 19% гидрол. при pH 2 и 20°C за 18 ч. Полн. гидрол. до цитидин-5′-фосфата и рибит-1,2-циклофосфата в 8 M NH_4OH при 100°C за 30 мин. Остаток рибит-1-фосфата имеет L-конфигурацию (эквивалентную D-рибит-5-фосфату). Получ. см. [JBC **241**, 639 (1966); **239**, 3178 (1964); BJ **82**, 297 (1962); JACS **83**, 653 (1961); Meth. Enzymol. **8**, 423 (1966)].
Цитидин-5′-монофосфо-N-ацетилнейраминовая кислота (CMP-N-ацетилнейраминовая кислота; CMP-сиаловая кислота; цитидин-5′-фосфо-N-ацетил-β-D-нейраминовая кислота)	 *M* 614,5	Бел. аморф. порошок. Раств-сть: р. H_2O; н.р. MeOH, ац., эф. В сухом состоянии при −20°C разл. на 5–10% в сут до CMP и N-ацетилнейраминовой кислоты. Чрезвычайно лабильна в кисл.; полн. гидрол. за 1 ч при 37°C и pH ≤ 4; в 0,01 M HCl при 23°C гидрол. на 83% за 5 мин. Более уст. при нейтр. и слабощел. pH, но полн. разл. за несколько мин. при нейтр. pH и 100°C и медл. разл. при высоких pH и комн. т. Получ. см. [JBC **237**, 3527 (1962); **241**, 5637 (1966); Meth. Enzymol. **8**, 208 (1966); Exptl. Cell. Res. **69**, 384 (1971); ZPC **353**, 883 (1972); BJ **177**, 1 (1979)].

8. Липиды и жирные кислоты с длинными углеводородными цепями

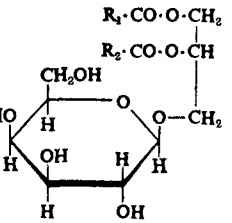
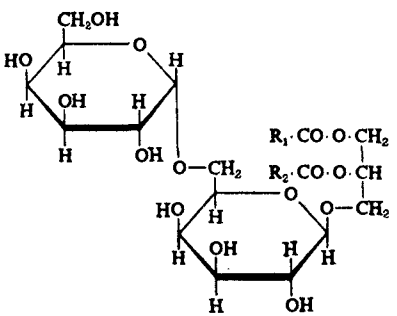
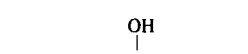
Замечание. Жирорастворимые витамины, каротиноиды, стероидные гормоны и жирные кислоты с числом атомов углерода, меньшим 8, включены в другие разделы.

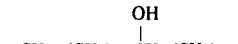
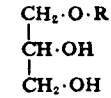
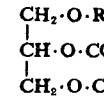
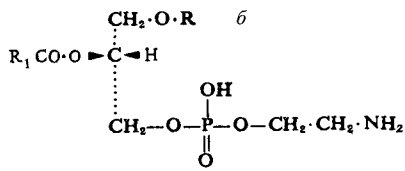
Используемая литература

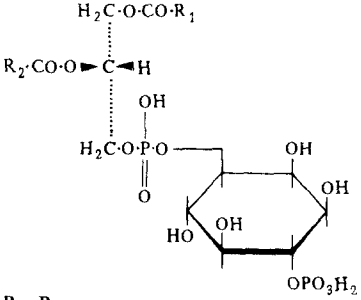
Ansell G. B., Hawthorne J. N., Dawson R. M. C., Form and Functions of phospholipids, 2nd ed., Elsevier, 1973.
Kates M., Techniques of lipidology: isolation, analysis, and identification of lipids, North-Holland, 1972.
Gurr M. I., James A. T., Lipid biochemistry, 2nd ed., Chapman Hall, 1975.
Gunstone F. D., An introduction to the chemistry and biochemistry of fatty acids and their glycerides, 2nd ed., Chapman Hall, 1967.
Christie W. W., Lipid analysis, Pergamon (1973).
Hitchcock C., Nichols B. W., Plant lipid biochemistry, Academic Press, 1971.
Johnson A. R., Davenport J. B. (eds.), Biochemistry and methodology of lipids, Wiley Interscience, 1971.
Marinetti G. V. (ed.) Lipid chromatographic analysis, 2nd ed., Vols. 1, 2, 3, Marcel Dekker, 1976.

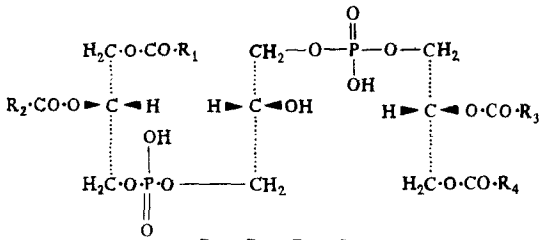
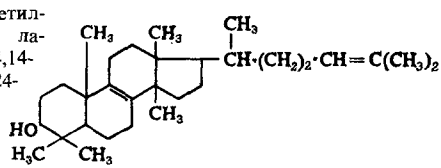
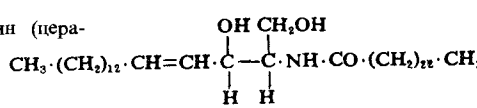
Номенклатура липидов приведена в работах [EJB **2**, 127 (1967); BJ **105**, 897 (1967); BJ **171**, 21 (1978)].

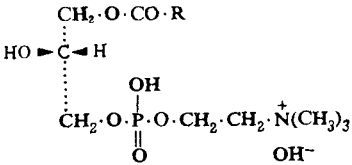
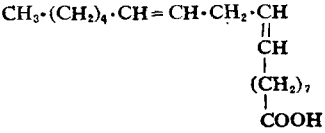
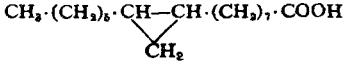
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Азелаиновая кислота (нонандикислота; гептаметилен-1,7-дикарбоновая кислота; гептандикарбоновая-1,7 кислота; лепаргиловая кислота)	$HOOC(CH_2)_7COOH$ *M* 188,2	$t_{пл}$ 107. $t_{кип}$ 225,5[10]; 286,5[100]. Раств-сть: 0,1[0], 0,212[22], 1,648[55] H_2O; р. эф.; х. р. EtOH. Бесцв. иглы или листочки. Продукт окисл. расщепления олеиновой кисл.
Арахидоновая кислота (эйкозатетраен-5,8,11,14-овая кислота)	$CH_3\cdot(CH_2)_4\cdot(CH{=}CH\cdot CH_2)_3\cdot CH{=}CH\cdot(CH_2)_3\cdot COOH$ *M* 304,5	$t_{пл}$ −49,5. Раств-сть: н. р. H_2O; р. эф. Встречается только в животных жирах. «Ключевая» жирная кисл., получаемая in vivo из линолевой кисл. Предшественник простагландинов.
Арахиновая кислота (*н*-эйкозановая кислота)	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$ *M* 312,5	$t_{пл}$ 75,4. Раств-сть: 0,45[20] EtOH; р. $CHCl_3$, бенз., эф. Крист. пластинки из EtOH. Найдена в овощах, рыбьем жире и молоке.
Бегеновая кислота (*н*-докозановая кислота)	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$ *M* 340,6	$t_{пл}$ 81. Раств-сть: умеренно р. H_2O, EtOH; м. р. эф.; р. $CHCl_3$. Бесцв. иглы. Содержится в маслах земляного ореха, семян репы и горчицы.
Вакценовая кислота (11-октадеценовая кислота)	$CH_3(CH_2)_5CH{=}CH(CH_2)_9COOH$ *M* 282,4	*Цис:* $t_{пл}$ 6,8. *Транс:* $t_{пл}$ 42,5. Раств-сть: н. р. H_2O; р. $CHCl_3$, ац., эф. *транс*-Изомер присутствует в сливочном масле, мясном жире; *цис* -в липидах многих бактерий.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Галактоглицериды (галактозилглицериновые эфиры: **1** – моногалактозилдиглицерид; **2** – дигалактозилдиглицерид)	**1.**  M 398,2 + R_1 + R_2 **2.** 2,3-диациловый эфир α-D-галактопиранозил-1,6-β-D-галактопиранозил-1-глицерин; M 470,4 + R_1 + R_2  R_1, R_2 – остатки жирных кислот	Моногалактозилглицерин (**1**): $t_{пл}$ 139 ÷ ÷ 140. $[\alpha]_D^{27}$ +3,77. Раств-сть: р. MeOH. Дигалактозилглицерин (**2**): $t_{пл}$ 182 ÷ 184. $[\alpha]_D^{27}$ +86,4. Раств-сть: р. H_2O. **1** и **2** перекр. из H_2O – EtOH-раст.; найдены в липидах зеленых листьев, груш, пшеничной муки, водорослей. **1** встречается в нервных тканях; в бактериях галактоза может существовать в фуранозной форме [Bacteriol. Rev. **34**, 365 (1970)]. Для жирных кисл., входящих в состав галактоглицеридов, характерно высокое содержание линолевой кислоты (пшеницы) и линоленовой кислоты (листья).
Ганглиозиды (группа ацилсфингозилолигосахаридов, содержащих сиаловую кислоту)	Как правило, имеют следующую общую структуру: N-ацилсфингозин-глюкозо-галактозо-N-ацетил-галактозаминогалактоза, с которой связана одна или более молекул N-ацетилнейраминовой кислоты [J. Neurochem. **10**, 613 (1963)]. Структуру моносиалоганглиозида см. [Ber. **96**, 866 (1963)].	Образуют агрегаты (мицеллы) в водн. раств. Эта группа липидов присутствует в мозге, селезенке и эритроцитах.
Гептадекановая кислота (маргариновая кислота, датуровая кислота, гептадециловая кислота; гептадекоевая кислота)	$CH_3(CH_2)_{15}COOH$ M 270,4	$t_{пл}$ 61,3. Раств-сть: х. р. эф. При 20°C: 0,00042 H_2O, 9,23 бенз., 2,5 MeOH, 4,17 95%-ный EtOH, 4,28 ац., 0,12 лед. укс. кисл. Бесцв. пластинки. В след. кол-вах найдена во многих природных липидах, напр. в бараньем жире, печеночном жире акул, сливочном масле.
2-Гидроксистеариновая кислота (α-гидроксистеариновая кислота; 2-гидроксиоктадекановая кислота)	 M 300,4	$t_{пл}$ 91. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф.; х. р. гор. бенз. Иглы из $CHCl_3$. Встречается в липидах шерсти и цереброзидах пшеничной муки. Ме-эфир: $t_{пл}$ 66.

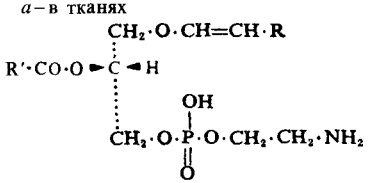
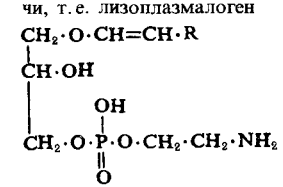
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
10-Гидроксистеариновая кислота (10-гидроксиоктадекановая кислота; розиловая кислота)	 M 300,4	$т_{пл}$ 81 ÷ 82. $t_{кип}$ 213 ÷ 217[4]. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф. Гекс. пластинки. Присутствует в липидах фекалий. Ме-эфир: $t_{пл}$ 53 ÷ 54.
α-Глицериновые эфиры (а – алкоксиглицериды, когда молекула содержит один или два этерифицированных остатка жирной кислоты и не содержит фосфата; б – алкоксифосфолипиды или эфиры фосфолипидов, когда одна свободная гидроксильная группа глицерина этерифицирована фосфоэтаноламином (или фосфохолином))	 *а* α-глицериновый эфир *M* 91,1 + R Глицериновый эфир называется соответственно химиловым, батиловым или селехиловым спиртом, когда R = $CH_3(CH_2)_{15}$, $CH_3(CH_2)_{17}$, $CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_8$  *б* алкоксидиглицерид *M* 145,1 + R + R_1 + R_2  *б* 1-алкил-2-ацил-*sn*-глицеро-3-фосфоэтаноламин R – остаток жирного спирта; R_1, R_2 – остатки жирных кислот. *M* 241,1 + R + R_1 (когда в качестве основания присутствует этаноламин)	Химиловый спирт: $t_{пл}$ 60,5 ÷ 61,5. Батиловый спирт: $t_{пл}$ 70 ÷ 71. Селехиловый спирт: в норм. усл. жидк. Раств-сть: *а* р. в раств-лях жирного ряда. Глицериновые эфиры и алкоксидиглицериды найдены в печеночном жире пластиножаберных рыб, костном мозге, селезенке, молоке и жировом депо новорожденных телят. Алкоксифосфолипиды найдены в мозге, эритроцитах, яичном желтке и слизняках.
Дигидросфингозин (сфинганин; *эритро*-1,3-дигидрокси-2-аминооктадекан)	*См.* Сфингозии (без двойной связи) *M* 301,5	$t_{пл}$ 85 ÷ 87. Раств-сть: р. EtOH, эф. Бесцв. крист. из петр. эф. и Et-ацетата. Присутствует в цереброзидах мозга, спинного мозга и пшеничной муки. Трибензоильное производное: $t_{пл}$ 142 ÷ 144. Триацетильное производное: $t_{пл}$ 102 ÷ 103. N-Ацетильное производное: $t_{пл}$ 122 ÷ 124.
Дигидрохолестерин (холестанол; 5α-холестанол-3β)	*См.* Холестерин (без двойной связи) *M* 388,6 Гидрат: *M* 406,6 Изомерен копростеролу, отличаясь пространственной конфигурацией заместителей у C-5	$t_{пл}$ 142 ÷ 143. $[\alpha]_D^{20}$ + 27,4 (в $CHCl_3$). Раств-сть: р. $CHCl_3$, эф. Гекс. пластинки из EtOH; + 1H_2O из 95%-ного EtOH. Образует дигитониновый комплекс, но не дает цветных р-ций холестерина, которые обусловлены наличием двойной связи. Ацетат: $t_{пл}$ 111. Бензоат: $t_{пл}$ 135.

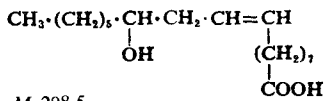
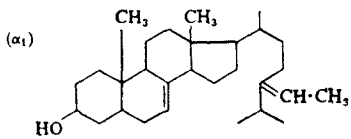
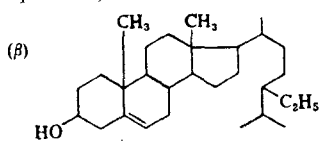
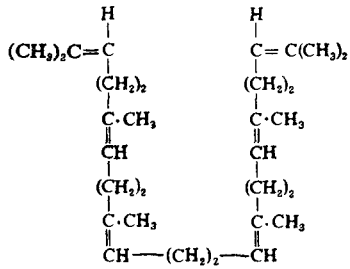
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Диглицерид (диацилглицерин)	1,2 CH_2OCOR_1 / $CHOCOR_2$ / CH_2OH ($\alpha\beta$); 1,3 CH_2OCOR_1 / $CHOH$ / CH_2OCOR_2 ($\alpha\alpha'$). R_1, R_2 – остатки жирных кислот. *M* 146,1 + R_1 + R_2. Димиристин: *M* 512,8. Дипальмитин: *M* 568,9. Дистеарин: *M* 625,0. Диолеин: *M* 621,0	1,2-Димиристин: $t_{пл}$ 58,9. $[\alpha]_D$ –3,3 (в $CHCl_3$). 1,2-Дипальмитин: $t_{пл}$ 68,9. $[\alpha]_D$ –2,9 (в $CHCl_3$). 1,3-Дипальмитин: $t_{пл}$ 69,5. 1,2-Дистеарин: $t_{пл}$ 76,7. $[\alpha]_D$ –2,8 (в $CHCl_3$). 1,3-Дистеарин: $t_{пл}$ 79. Раств-сть: н. р. H_2O; м. р. EtOH, лед. укс. кисл.; р. эф., $CHCl_3$, CCl_4, петр. эф. Обычно более раств. в орг. раств-лях, если остатки (R_1 и R_2) содержат ненас. связи. Диглицерид, содержащийся в тканях или образующийся из фосфолипидов, – обычно 1,2-диацил-*sn*-глицерин (может присутствовать и 1,3-изомер). При хранении, особ. в кисл. усл., может происходить миграция ацила.
Дифосфоинозитид (1-фосфатидилинозит-4-фосфат; 1,2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфорил-L-1-миоинозит-4-фосфат)	 R_1, R_2 – остатки жирных кислот. *M* 468,2 + R_1 + R_2	Раств-сть: свободный липид р. MeOH, EtOH, $CHCl_3$; Na-соль: р. H_2O, влажный $CHCl_3$; н. р. MeOH, ац., эф. Содержится в нервной ткани млекопитающих. Получ. см. [JBC **239**, 1369 (1964)].
Каприловая кислота (*н*-октановая кислота)	$CH_3(CH_2)_6COOH$. *M* 144,2	$t_{пл}$ 16,7. $t_{кип}$ 237,5. Раств-сть (при 20°C): 0,068 H_2O; ∞ бенз., $CHCl_3$, CCl_4, MeOH, ац., Et-ацетат. Бесцв. листочки или жидк. с прогорклым запахом. pK_a 4,85. Pb-соль: н. р. H_2O. Соли Cu и Zn: умеренно р. H_2O.
Каприновая кислота (*н*-декановая кислота)	$CH_3(CH_2)_8COOH$. *M* 172,3	$t_{пл}$ 31,6. $t_{кип}$ 268 ÷ 270. Раств-сть (при 20°C): 0,015 H_2O, 398 бенз., 326 $CHCl_3$, 210 CCl_4, 510 MeOH, 407 ац., 567 лед. укс. кисл., 289 Et-ацетат. Бесцв. иглы, прогорклый запах. Найдена в сливочном масле, кокосовом масле и голове кашалота.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Кардиолипин (дифосфатидилглицерин; бис(1-2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо)-1′,3′-*sn*-глицерин)	 R_1, R_2, R_3, R_4 – остатки жирных кислот M 508,3 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4	$[\alpha]_D^{25}$ +5,8 (в EtOH). Раств-сть: н. р. H_2O; р. ац., $CHCl_3$, эф., EtOH. Свободная кисл. неуст. Na-соль: при хранении 18 мес не теряет серологической активности. Найден в митохондриях и некоторых бактериях.
Копростерин (копростанол; 5β-холестанол-3β)	*См.* Холестерин, но без двойной связи. M 388,6 Изомерен дигидрохолестерину, отличаясь пространственной конфигурацией атома H у C-5 (т. е. C_5-эпимер холестанола, *см.* Дигидрохолестерин)	$t_{пл}$ 101. $[\alpha]_D^{25}$ +28 (в $CHCl_3$). Раств-сть: р. эф., $CHCl_3$, бенз.; м. р. MeOH; н. р. H_2O. Найден в фекалиях; получается при действии кишечных микроорганизмов иа холестерин. Ацетат: $t_{пл}$ 89. Бензоат: $t_{пл}$ 125.
Ланостерин (ланоста-8,24-диен-3β-ол; 4,4,14-триметилхолеста-8,24-днен-3β-ол; ланостадиен-8,24-ол-3β; 4,4,14-триметилхолестадиен-8,24-ол-3β)	 M 426,7	$t_{пл}$ 139. $[\alpha]_D^{25}$ +60 (в $CHCl_3$). Раств-сть: н. р. H_2O; р. раств-ли жирного ряда. Найден в небольшнх кол-вах во многих природных липидах, напр. липидах шерсти, дрожжах, латексе. Промежуточное соединение при биосиитезе холестерина. Ацетат: $t_{пл}$ 130. Бензоат: $t_{пл}$ 194.
Лауриновая кислота (*н*-додекановая кислота)	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$ M 200,3	$t_{пл}$ 44,2. $t_{кип}$ 225^{100}. Раств-сть: при 20°C 0,0055 H_2O, 93,6 бенз., 83 $CHCl_3$, 53 CCl_4, 120 MeOH, 105 EtOH, 60,5 ац., 297 лёд. укс. кисл., 52 Et-ацетат; х. р. эф. Иглы из EtOH. Широко распространеиа в организмах животных, растениях и в жирах морских животных.
Лигноцерилсфингозин (церамидная группа)	 M 650,1	$t_{пл}$ 94 ÷ 95. Раств-сть: р. эф., $CHCl_3$; м. р. ац.
Лигноцериновая кислота (*н*-тетракозановая кислота)	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$ M 368,6	$t_{пл}$ 84,2. Раств-сть: р. эф., EtOH, ац., бенз., лед. укс. кисл., CS_2. Тоикие бел. крист. Найдена в растениях и жирах морских животных. Метиловый эфир: $t_{пл}$ 57. Солн Ag, Pb: $t_{пл}$ 117.

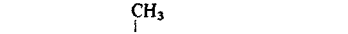
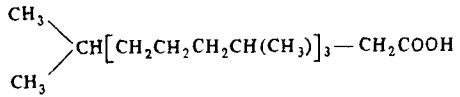
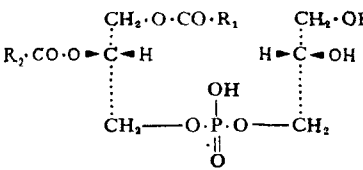
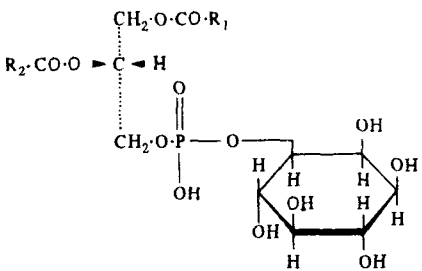
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Лизолецитин (β) (1-ацил-*sn*-глицеро-3-фосфохолин; лизофосфатидилхолин; лизо-ФХ)	 R – остаток жирной кислоты Моностеароил: *M* 541,7 Монопальмитоил: *M* 513,7	Монопальмитоил: $t_{пл}$ 195 ÷ 196. $[\alpha]_D^{25}$ −2,2. Моностеароил: $t_{пл}$ 257,5 ÷ 258,5. $[\alpha]_D^{25}$ −2,87 (в MeOH–$CHCl_3$). Раств-сть: образует эмульсию в H_2O; н. р. эф.; умеренно р. ац.; р. EtOH, лед. укс. кисл., $CHCl_3$, пир. Моностеароильное производное: иглы. Неустойчив в 1 М KOH при 37°C. Выделяется ферментативно с остатком жирной кислоты на C-1 глицерина. Проявляет свойства детергента.
Линолевая кислота (*цис,цис*-октадекадиен-9,12-овая кислота; *цис*-9-*цис*-12-октадекадиеновая кислота)	 *M* 280,4	$t_{пл}$ −9 ÷ −8. $t_{кип}$ 230^{16}. Раств-сть: н. р. H_2O; ∞ EtOH, эф., $CHCl_3$. Бесцв. или жел. масло. Поглощает O_2 из возд., образуя густую блестящую массу. В природе кисл. встречается в виде *цис, цис*-изомера. Обнаружена в растительных маслах, напр. в льняном. Предшественник арахидоновой кисл. в организме животных.
Линоленовая кислота (*цис*-9, *цис*-12,*цис*-15-октадекатриеновая кислота; *цис,цис,цис*-октадекатриен-9,12,15-овая кислота)	$CH_3(CH_2CH{=}CH)_3(CH_2)_7COOH$ *M* 278,4	α: $t_{пл}$ −17 ÷ −16. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф., $CHCl_3$. В природе существует в виде α- или *цис,цис,цис*-формы. Наиболее распространенная жирная кисл. в зеленых листьях и хлоропластах.
9,10-Метиленгексадекановая кислота	 *M* 268,4	Ме-эфир: $t_{кип}$ $140^{0,8}$. Раств-сть: н. р. H_2O, р. раств-ли жирного ряда. Содержится в липидах некоторых бактерий наряду с др. циклопропановыми жирными кисл., напр. в *E. coli*. Амид: $t_{пл}$ (природного препарата) 70 ÷ 72; (синтетического) 79 ÷ 81.
Миристиновая кислота (*н*-тетрадекановая кислота)	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$ *M* 228,4	$t_{пл}$ 52 ÷ 53. $t_{кип}$ 249^{100}. Раств-сть: при 20°C 0,002 H_2O, 29,2 бенз., 32,5 $CHCl_3$, 17,6 CCl_4, 17,3 MeOH, 23,9 EtOH, 15,9 ац., 10,2 лед. укс. кисл., 15,3 Et-ацетат; ум. р. эф. Воскообразные листочки. Широко распространена в природных маслах и жирах.

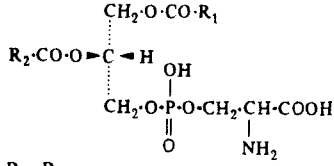
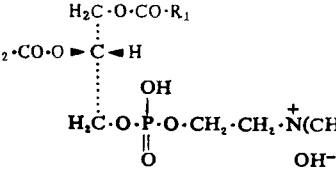
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Моноглицерид (моноацилглицерин)	CH_2OCOR | $CHOH$ | CH_2OH 1-моноглицерид (α) CH_2OH | $CHOCOR$ | CH_2OH 2-моноглицерид (β) R – остаток жирной кислоты *M* 119,1 + R Моноолеат: *M* 356,5 Мономиристат: *M* 302,3 Монопальмитат: *M* 330,4 Моностеарат: *M* 358,5	1-Моноолеат: $t_{пл}$ 35. 1-Монопальмитат: $t_{пл}$ 71 ÷ 72. 2-Монопальмитат: $t_{пл}$ 68,5. $[\alpha]_D^t$ −4,4 (в пир.). 1-Моностеарат: $t_{пл}$ 76 ÷ 77. $[\alpha]_D^t$ −3,58 (в пир.). 2-Моностеарат: $t_{пл}$ 74,4. Раств-сть: н. р. H_2O (дисперсии); м. р. EtOH, MeOH; р. эф., $CHCl_3$, CCl_4. Обычно более растворим в орг. раств-лях, если остаток R содержит ненас. связи. Легко происходит миграция ацильной гр., что сопровождается уменьш. $[\alpha]_D$. Образуется при расщеплении жиров (триацилглицеринов) в кишечнике.
Нервоиовая кислота (*цис*-15-тетракозеновая кислота; ацетоэруковая кислота)	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_{13}COOH$ *M* 366,6	*Цис:* $t_{пл}$ 39. *Транс:* $t_{пл}$ 61. Раств-сть: р. EtOH, $CHCl_3$, ац. *Цис:* бел. иглы. Встречается в жирах морских животных и липидах мозга; в природе существует *цис*-форма.
Олеиновая кислота (*цис*-9-октадеценовая кислота; *транс*-изомер – элаидиновая кислота)	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$ *M* 282,5	*Цис*, α: $t_{пл}$ 13,4; β: $t_{пл}$ 16,3. *Транс:* $t_{пл}$ 44,5. Раств-сть: *цис* и *транс* н. р. H_2O; р. EtOH, бенз., $CHCl_3$, эф., MeOH, ац. *Цис:* бесцв. иглы. *Транс:* листочки. *Цис–транс*-превращение катализируется оксидами азота, сернистой кисл., S, P и Se. Крист. форма ($t_{пл}$ 13,4) медл. превращается в уст. форму ($t_{пл}$ 16,3). Дибромопроизводные олеиновой кислоты: $t_{пл}$ 28,5 ÷ 29; элаидиновой кислоты: $t_{пл}$ 29 ÷ 30. Соль Ca: $t_{пл}$ 83 ÷ 84. Соль Na: $t_{пл}$ 230 ÷ 235.
Олеиновый спирт (*цис*-9-октадеценол)	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7CH_2OH$ *M* 268,5	$t_{пл}$ 2. $t_{кип}$ 209^{15}. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф., $CHCl_3$. Компонент жиров морских животных.
Пальмитиновая кислота (*н*-гексадекановая кислота)	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$ *M* 256,4	$t_{пл}$ 63,1. $t_{кип}$ $211{,}5^{10}$. Раств-сть: н. р. H_2O; р. эф.; при 20°C 7,3 бенз., 15,1 $CHCl_3$, 5,8 CCl_4, 3,7 MeOH, 7,21 EtOH, 5,4 ац., 2,1 лед. укс. кисл., 6,1 Et-ацетат. Восковые иглы. Широко распространена в растительных и животных липидах. Соль Ca: $t_{пл}$ 153 ÷ 156. Соль Na: $t_{пл}$ 270.
Пальмитальдегид (гексадеканаль; пальмитиновый альдегид)	$CH_3(CH_2)_{14}CHO$ *M* 240,4	$t_{пл}$ 34. Раств-сть: н. р. H_2O; р. эф., ац., петр. эф., EtOH. Может образовываться при кисл. гидрол. плазмалоге-

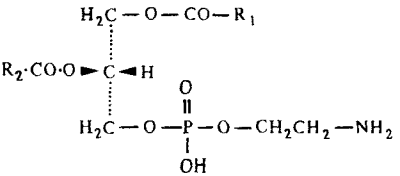
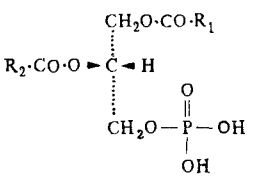
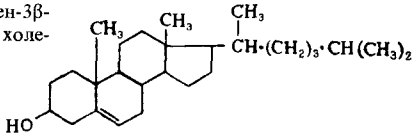
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		нов. При хранении тримеризуется (тример: $t_{пл}$ 73). Оксим: $t_{пл}$ 88. Семикарбазон: $t_{пл}$ 107.
Пальмитолеиновая кислота (9-гексадеценовая кислота; зоомариновая кислота)	$CH_3(CH_2)_5CH{=}CH(CH_2)_7COOH$ *M* 254,4	$t_{пл}$ (*цис*) $-0,5 \div 0,5$. Раств-сть: р. $CHCl_3$, эф., бенз. Главный компонент многих растительных и животных жиров.
Пеларгоновая кислота (*н*-нонановая кислота)	$CH_3(CH_2)_7COOH$ *M* 158,2	$t_{пл}$ $12 \div 12,5$. $t_{кип}$ 180^{100}; 254^{760}. Раств-сть: при 20°C 0,026 H_2O; ∞ бенз., гексан, ац., Et-ацетат, MeOH. Продукт окисл. расщепления олеиновой кисл.
Пентадекановая кислота	$CH_3(CH_2)_{13}COOH$ *M* 242,2	$t_{пл}$ 52,3. $t_{кип}$ $202 \div 205^{10}$. Раств-сть при 20°C 0,0012 H_2O, 36,2 бенз., 16,4 MeOH, 19,5 95%-ный EtOH, 13,8 ац., 8,8 лед. укс. кисл., 15,4 Et-ацетат, 22,3 Bu-ацетат. Тв. крист. воскообразное в-во. В след. кол-вах найдена во многих природных липидах, напр. в сливочном масле, бараньем жире, печени акул.
Плазмалогены (раннее название: ацетальфосфатиды; фосфатидальэтаноламин или EP, фосфатидальсерин или SP, фосфатидальхолин или CP). *а*-1-(алкен-1′-ил)-2-ацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-О-этаноламин (соответственно может быть производное серина или холина)	Представляют собой глицерофосфоэтаноламин (глицерофосфохолин или глицерофосфосерин) с одним этерифицированным остатком жирной кислоты и одним остатком альдегидогенной жирной кислоты, связанным енольно-эфирной связью; приведенный пример соответствует этаноламинплазмалогену. *а*-в тканях  *M* 267,2+R+R′ *б*-выделен с использованием щелочи, т.е. лизоплазмалоген  R′-остаток жирной кислоты; R-остаток жирного альдегида *M* 240,2+R	Раств-сть: *а* образует эмульсию в H_2O; р. $CHCl_3$, MeOH, эф. *а* превращается в *б* при инкубации в метанольном 1 M NaOH при 37°C, но деацилирование происходит не так быстро, как у диацилфосфолипидов [J. Neurochem. **10**, 941 (1963)]. Алкен-1′-ильная группа имеет *цис*-конфигурацию. *б*-из мышцы: $t_{пл}$ $160 \div 190$. $[\alpha]_D^{26}$ $-8,6$ ($c = 4$ в смеси (1:1) $CHCl_3$-MeOH). Раств-сть: н.р. H_2O, м.р. EtOH, эф., петр. эф., ац., бенз.; р. гор. MeOH, гор. EtOH, $CHCl_3$. Уст. в 1 M NaOH при 37°C. Лабилен в кисл. при комн. т. Многие ранее получаемые преп. давали циклический ацеталь.

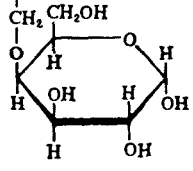
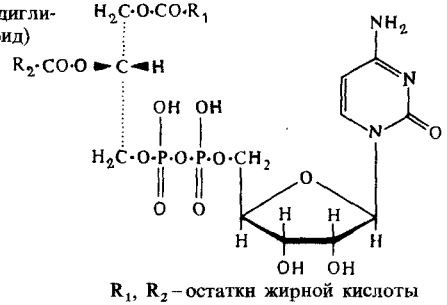
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Рицинолевая кислота (12-гидрокси-*цис*-9-октадеценовая кислота; рицинолеиновая кислота)	 *M* 298,5	$t_{пл}$ *цис* 5,5; (*транс* 53). $[\alpha]_D^{22}$ +6,4 (в ац.). Присутствует в касторовом масле в виде тририцинолеинглицерида. Абсолютная конфигурация см. [Chem. Ind. **1958**, 1554].
Ситостерины (α_1-, β-) (β–22-дигидростигмастерин; Δ^5-стигмастен-3β-ол)	(α_1)  α_1 : *M* 412,7 (β)  β : *M* 414,7	α_1: $t_{пл}$ 164 ÷ 166. $[\alpha]_D^{28}$ −1,7 (в $CHCl_3$). Раств-сть: р. $CHCl_3$, эф. β: $t_{пл}$ 136 ÷ 138. $[\alpha]_D^{25}$ −37,8 (в $CHCl_3$). Раств-сть: р. $CHCl_3$. α_1 и β: иглы из EtOH. Присутствует в зернах пшеницы и соевом масле. Осаждается дигитонином. Ацетат α_1: $t_{пл}$ 137. Бензоат α_1: $t_{пл}$ 172. Ацетат β: $t_{пл}$ 123 ÷ 124. Бензоат β: $t_{пл}$ 145 ÷ 146.
Сквален (спинацен)	 *M* 410,7	$t_{пл} < -20$. $t_{кип}$ 213[1]. Раств-сть: р. эф., $CHCl_3$; м. р. EtOH, лед. укс. кисл. Бесцв. подвижное масло. Промежуточное соединение в биосинтезе холестерина. В след. кол-вах найден во многих тканях; в заметных кол-вах – в жирах печени некоторых морских животных. Гексагидрохлориды: $t_{пл}$ 108 ÷ 110, 144 ÷ 145.
Стеариновая кислота (*н*-октадекановая кислота)	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$ *M* 284,4	$t_{пл}$ 69,6. $t_{кип}$ 213,0[5]. Раств-сть: н. р. H_2O; р. эф; при 20°C 2,5 бенз., 6,0 $CHCl_3$, 2,4 CCl_4, 0,1 MeOH, 2,25 EtOH, 1,54 ац., 0,12 лед. укс. кисл., 0,5 Et-ацетат. Широко распространена в природных маслах и жирах; значит. кол-ва содержатся в жировом депо жвачных животных. Соль Ca: $t_{пл}$ 150 ÷ 154. Соль Na: $t_{пл}$ 260.
Стеариновый альдегид (*н*-октадеканаль)	$CH_3(CH_2)_{16}CHO$ *M* 268,5	$t_{пл}$ 63,5 (38). О. быстро полимеризуется, так что данные по $t_{пл}$ ненадежны. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф., петр. эф., ац. Чешуйки из эф. Может образовываться при кисл. гидрол. плазмалогена. При хранении о. быстро полимеризуется.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Сфингозин (4-сфингенин; *транс*-D-*эритро*-1,3-дигидрокси-2-аминооктадецен-4)	$CH_3\cdot(CH_2)_{12}\cdot CH{=}CH\cdot CH(OH)CHNH_2$ (CH$_2$OH) *M* 299,5	$t_{пл}$ 82,5 ÷ 83. Свободное основание: $[\alpha]_D^{25}$ +3 (26 мг в 2 мл пир.). Раств-сть: н. р. H_2O; р. $CHCl_3$, EtOH, ац., MeOH. Свободное основание: иглы из петр. эф. Сульфат: пучки игл из EtOH; о. гигр. Триацетильное производное: $t_{пл}$ 101 ÷ 102.
Сфингозинсульфат	$C_{18}H_{37}NO_2\cdot H_2SO_4$ *M* 397,6	$t_{пл}$ 240 ÷ 250 (149–152) $[\alpha]_D^{20}$ −13,12 (в $CHCl_3$). Раств-сть: р. $CHCl_3$, гор. EtOH, содержащий H_2SO_4.
Сфингомиелин (церамид-1-фосфохолин; N-ацил-*эритро*-сфингозин-1-фосфохолин)	R·CO·NH– $CH_3\cdot(CH_2)_{12}\cdot CH{=}CH\cdot CH(OH)\cdot CH\cdot CH_2$ O $(CH_3)_3\overset{+}{N}\cdot(CH_2)_2\cdot O\cdot P{=}O$ OH⁻ OH R – остаток жирной кислоты *M* 509,6 + R	$t_{пл}$ 196 ÷ 198 (209). $[\alpha]_D^t$ +6 ÷ 7 (в $CHCl_3$ – MeOH). Раств-сть: н. р. эф., ац., H_2O; р. бенз., $CHCl_3$, гор. EtOH, гор. Et-ацетат. Бел. крист. Уст. при инкубации в 1 M NaOH при 37°C, но гидрол. при более высокой темп. Гидрол. в метанольном раств. HCl при 100°C, образуя фосфохолин и немного сфингозилфосфохолина.
Триглицерид (триацилглицерин)	CH_2OCOR_1 $CHOCOR_2$ CH_2OCOR_3 R_1, R_2, R_3 – остатки жирных кислот *M* 174,1 + R_1 + R_2 + R_3 Трилаурат: *M* 639, Тримиристат: *M* 723,1 Триолеат: *M* 885,4 Трипальмитат: *M* 807,3	Тримиристат: $t_{пл}$ α 32; β′ 44; β 55,5. Триолеат: $t_{пл}$ α −32; β′ −13; β 3,8 (5,5). Трипальмитат: $t_{пл}$ α 44; β′ 55,5; β 65,5. Раств-сть: н. р. H_2O, м. р. EtOH, MeOH; р. эф., $CHCl_3$, CCl_4, петр. эф. Обычно более растворим в орг. раств-лях, если R_1, R_2 и R_3 содержат ненас. связи. Может существовать в полиморфных формах. Широко распространен в жировых депо животных и в высших растениях.
Трифосфоинозитид (1,2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-1-миоинозит-4,5-дифосфат; 1-фосфатидилмиоинозит-4,5-дифосфат)	$H_2C\cdot O\cdot CO\cdot R_1$ $R_2\cdot CO\cdot O\blacktriangleright C\blacktriangleleft H$ OH $H_2C\cdot O\cdot P\cdot O$ O OH OH OH OPO_3H_2 OPO_3H_2 R_1, R_2 – остатки жирных кислот *M* 548,2 + R_1 + R_2	Раств-сть: свободный липид р. H_2O, MeOH, EtOH, $CHCl_3$; соль Na р. H_2O, влажный $CHCl_3$; н. р. MeOH, ац., эф. Соль Na_4 уст. при хранении во влажном $CHCl_3$ при −18°C, свободная кисл. медл. разл. Содержится в нервной ткани млекопитающих гл. обр. в виде стеароиларахидоновых производных. Получ. см. [JBC **239**, 1369 (1964)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Туберкулостеариновая кислота (10-метилстеариновая кислота; (−)-10-(D)-метилоктадекановая кислота)	 M 298,5	$t_{пл}$ 12,8 ÷ 13,4. $t_{кип}$ 175 ÷ 178$^{0.7}$. $[\alpha]_D^{19}$ −0,08. Раств-сть: н. р. H_2O; р. жирные раств-ли. Найдена в туберкулиновых бугорках человека и крупного рогатого скота, а также в бациллах проказы. Амид: $t_{пл}$ 76,5 ÷ 77. Трибромоанилид: $t_{пл}$ 93 ÷ 94.
Фитановая кислота (3,7,11,15-тетраметилгексадекановая кислота)	 M 312,5	$t_{пл}$ −65. Раств-сть: аналогична раств-ти ненас. жирных кисл.; н. р. H_2O; х. р. эф., $CHCl_3$, EtOH. См. обзор [Progress in Chemistry of fats and other lipids, R. T. Holman (ed.), 1973, 14 part (1), p. 5]. Найдена в жирах жвачных животных, галобактериях и накапливается в организме при болезни Рефсума.
Фосфатидилглицерин (1,2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-1′-*sn*-глицерин)	 R_1, R_2 – остатки жирных кислот M 300,1 + R_1 + R_2	Дистеароил-3-*sn*: $t_{пл}$ 66,5 ÷ 67,0 $[\alpha]_D^t$ +2,0^{22} (в $CHCl_3$). Диолеил-3-*sn*-: $[\alpha]_D^t$ +2,0^{21} (в $CHCl_3$). Раств-сть: образует эмульсии в H_2O; р. EtOH, эф., $CHCl_3$, ац., бенз., MeOH. Найден преимущественно в растениях, в след. кол-вах также в тканях животных.
Фосфатидил-1-инозит (монофосфоинозитид; 1,2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-1-миоинозит)	 R_1, R_2 – остатки жирных кислот M 388,2 + R_1 + R_2	Из печени: $[\alpha]_D^{25}$ +5,60. Раств-сть: р. H_2O, $CHCl_3$, бенз.; м. р. MeOH, эф., петр. эф.; н. р. 95%-ный EtOH, ац., Et-ацетат. Бел. аморф. тв. в-во. Соль Na: крист.. Соль Ba: н. р. в H_2O; р. в смеси (3:1) $CHCl_3$ – MeOH. Содержится в мембранах большинства растений и животных.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Фосфатидилсерин (1,2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-О-серин)	 R_1, R_2 – остатки жирных кислот M 313,2 + R_1 + R_2	Дистеароил-3-*sn* спекается 120. $t_{пл}$ 159 ÷ 161. $[\alpha]_D^t$ см. [JBC **212**, 25 (1955)]. Выделенный преп. соли (Na и K) образует эмульсии в H_2O. Раств-сть: н. р. EtOH, MeOH, ац.; р. $CHCl_3$, эф., петр. эф. Синтетический р. только $CHCl_3$. Соль уст. только при хранении в $CHCl_3$ при −72°C. Свободная кисл. более уст. Лабильна в метанольном 1 М NaOH при 37°C. Выделенный липид обычно содержит серинсодержащий плазмалоген.
Фосфатидилхолин (3-*sn*-фосфатидилхолин; 1,2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфохолин; лецитин)	 R_1, R_2 – остатки насыщенных или ненасыщенных жирных кислот M 329,3 + R_1 + R_2	Выделенный преп. (из легких): спекается при 75 ÷ 80. $t_{пл}$ 237 ÷ 238. Синтетические преп.: Димиристоилхолин: спекается 90. $t_{пл}$ 236 ÷ 237. Дипальмитоилхолин: спекается 120. $t_{пл}$ 235 ÷ 236. Дистеароилхолин: спекается при 120. $t_{пл}$ 230 ÷ 232. $[\alpha]_D^t$ для 3-*sn*-фосфатидилхолинов: выделенный преп. (из легких) +6,25 (в MeOH – $CHCl_3$); дипальмитолеилхолин +6,6 ($CHCl_3$ – MeOH, 1:1); синтетический преп., димиристоилхолин $+7{,}0^{24}$ (в EtOH – $CHCl_3$); дипальмитоилхолин $+7{,}0^{25}$ (в $CHCl_3$); дистеароилхолин +6,1 (в MeOH – $CHCl_3$). Раств-сть: н. р. ац., Ме-ацетат; р. EtOH, эф., петр. эф., CS_2, $CHCl_3$, CCl_4, бенз.; дипальмитолеилхолин: н. р. петр. эф., если оба остатка R_1 и R_2 не содержат кратных связей, н. р. эф., м. р. ац.; р. EtOH, лед. укс. кисл., $CHCl_3$. Дипальмитоилхолин: иглы из диизобутилкетона. Гигр., похожее на воск или напоминающие пластмассу тв. в-во, на возд. коричневеет. Данные по раств-сти зависят от присутствия других липидов. Лабилен в 1 М щел. при 37°C и метанольном раств. щел. при комн. т. В природе встречается в виде L-α-изомера, т. е. 3-*sn*-фосфатидилхолина.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Фосфатидилэтаноламин (кефалин; 1,2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-О-этаноламин)	 R_1, R_2 - остатки жирных кислот *M* 269,2 + R_1 + R_2	Димиристоил-3-*sn*-: спекается 86. $t_{пл}$ 175 ÷ 177. $[\alpha]_D^6$ +6,0 (в $CHCl_3$). Дистеароил-3-*sn*: спекается при 83. $t_{пл}$ 173 ÷ 175. $[\alpha]_D^{24}$ +6,0 (в $CHCl_3$ – лед. укс. кисл., 9:1). Дипальмитоил-3-*sn*-: спекается при 88. $t_{пл}$ 172,5 ÷ 175,0. $[\alpha]_D^6$ +6,4 (в $CHCl_3$). Раств-сть: выделенный преп. н. р. ац.; р. MeOH, EtOH, $CHCl_3$, бенз., влажный эф., петр. эф.; синтетический преп. (R_1 и R_2 не содержат кратных связей) н. р. ац., эф., петр. эф.; м. р. EtOH, бенз., CCl_4; р. $CHCl_3$, пир. Гигр. в-во. Выделенный преп. быстро становится коричневым из-за аутоокисления. Раств-сть зависит от присутствия др. липидов. Лабилен в 1 М щел. при 37°С. В природе встречается в виде L-α- или 3-*sn*-изомера.
Фосфатидная кислота (1,2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфат; L-α-фосфатидная кислота)	 R_1, R_2 – остатки жирных кислот *M* 226,1 + R_1 + R_2. Димиристоилпроизводное: *M* 592,5. Дипальмитоилпроизводное: *M* 648,6 Дистеароилпроизводное: *M* 704,6	$[\alpha]_D^t$ димиристоил-3-*sn*- +4,4^{24} (в $CHCl_3$); дипальмитоил-3-*sn*- +4,0^{26} (в $CHCl_3$); дистеароил-3-*sn*- +3,8^{26} (в $CHCl_3$). Раств-сть: выделенный преп. н. р. H_2O, EtOH; р. ац., эф., $CHCl_3$; синтетический преп. н. р. H_2O; м. р. EtOH; ум. р. ац.; р. $CHCl_3$, бенз. При кисл. гидрол. α-фосфатидной кисл. образуются α- и β-глицерофосфорная кисл; при щел. гидрол. миграции фосфатной гр. не происходит. Промежуточный продукт при биосинтезе фосфоглицеридов, но в тканях содержится только в след. кол-вах.
Холестерин (Δ^5-холестен-3β-ол; холест-5-ен-3β-ол; холестен-5-ол-3β)	 *M* 386,6 Гидрат: *M* 404,6	$t_{пл}$ 148,5 (безводн.). $[\alpha]_D^{15}$ −31,1 (в эф.). Раств-сть: ум. р. H_2O, EtOH; р. эф., $CHCl_3$, бенз., петр. эф., пир., Et-ацетат, гор. EtOH. Монокл. листочки + $1H_2O$ из 95%-ного EtOH; иглы из безводн. раств-лей. Медл. окисл. на возд., что приводит к пожелтению и изменению раств-сти и $t_{пл}$. Обнаруживает двойное лучепреломление. Дибромид: иглы; $t_{пл}$ 109 ÷ 111 или 123 ÷ 124.
Холестериновые эфиры		
а) ацетат	$C_{27}H_{45}OOCCH_3$ *M* 428,7	$t_{пл}$ 115. $[\alpha]_D^{20}$ −47,4. Раств-сть: ум. р. EtOH; м. р. ац. Пластинки или иглы из EtOH – эф.
б) олеат	$C_{27}H_{45}O{\cdot}OC(CH_2)_7{\cdot}CH$ $\quad\quad\quad

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
г) стеарат	$C_{27}H_{45}OOC(CH_2)_{16}CH_3$ *M* 653,1	$t_{пл}$ 82,5. $[\alpha]_D^{20}$ −24,3. Бел. пластинки. Обнаруживает мезоморфизм при нагрев. и превращается в мутную жидк. перед плавлением.
Цереброзиды (гликосфингозиды)	$CH_3\cdot(CH_2)_{12}\cdot CH{=}CH\cdot CH(OH)$ $R\cdot CO\cdot NH\cdot CH$ $CH_2\ CH_2OH$  *M* 488,6 + R Содержат сфингозин (дигидросфингозин), жирную кислоту и сахар, обычно галактозу. R – остаток жирной кислоты. Керазин – лигноцериновая кислота; френозин – цереброновая кислота; нервон – нервоновая кислота; оксинервон – α-гидроксинервоновая кислота	Френозин: полн. плавится при 212 ÷ 215. Керазин: полн. плавится при 185 ÷ 187. Нервон: полн. плавится 180. Приводятся разные данные по $[\alpha]_D$, что, вероятно, зависит от чистоты [*Deuel H.* The Lipids, vol. I, p. 485 Interscience, New York, 1951]. Раств-сть: н. р. H_2O, эф., петр. эф.; м. р. EtOH; р. пир., ац., лед. укс. кисл., $CHCl_3$. Воскоподобные белые порошки. Уст. к гидрол. в кипящем насыщ. $Ba(OH)_2$.
Цериловый спирт (1-гексакозанол; церотин)	$CH_3(CH_2)_{24}CH_2OH$ *M* 382,7	$t_{пл}$ 79 ÷ 80. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф. Кристаллическая форма, ромб. пластинки. Широко распространен в разл. восках растительного и животного происхождения, обычно в виде эфиров жирных кисл.
Цетиловый спирт (1-гексадеканол; пальмитиловый спирт)	$CH_3(CH_2)_{15}OH$ *M* 242,5	$t_{пл}$ 49,3. $t_{кип}$ 190^{15}. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, MeOH, эф., бенз. Листочки из EtOH. Найден в жирах разл. морских животных, часто в виде эфиров жирных кисл.
Цитидин-5′-дифосфатдиглицерид (CDP-диглицерид)	 R_1, R_2 – остатки жирной кислоты *M* 531,3 + R_1 + R_2	Дипальмитоил (ди-NH_4-соль): $t_{пл}$ 171 ÷ 172. Раств-сть: свободная кислота р. $CHCl_3$; K-соль: прозрачная дисперсия в H_2O. K-соль: в виде сухого тв. в-ва или водн. дисперсии уст. при низких темп. (<0°C). Свободная кисл. неуст. в раств. $CHCl_3$ при комн. т. При щел. метанолизе первоначально дает цитидинмонофосфат и циклический глицерофосфат.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Элеостеариновая кислота (α или *цис* и β или *транс*) (октадекатриен-9,11,13-овая кислота)	$CH_3(CH_2)_3(CH{=}CH)_3(CH_2)_7COOH$ *M* 278,4	*Цис:* α: $t_{пл}$ 48 ÷ 49. *Транс:* β: $t_{пл}$ 71,5 ÷ 71,8. Раств-сть: *цис* н. р. H_2O; р. EtOH, эф., CS_2, гор. лед. укс. кисл.; *транс* н. р. H_2O; м. р. EtOH; р. гор. лед. укс. кисл., эф., CS_2. *Цис:* листочки или иглы из EtOH; *транс:* пластинки или иглы из EtOH. *Цис* встречается в природе и легко превращается в *транс*-изомер под действием света, нагрев., катализаторов, таких, как I или S. α-*Тетрабромид:* $t_{пл}$ 115.
Эруковая кислота (*цис* или *транс*) (13-докозеновая кислота; *транс*-изомер – брассидиновая кислота; изоэруковая кислота)	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_{11}COOH$ *M* 338,6	*Цис:* $t_{пл}$ 33,5. *Транс:* $t_{пл}$ 60. Раств-сть: *цис* р. EtOH, эф.; *транс* м. р. H_2O, EtOH; р. эф. *Цис* изомеризуется при обработке водн. сернистой кисл. в течение 24 ч при 200°C. *Цис*: бесцв. иглы из EtOH.

Удерживаемые объемы метиловых эфиров длинноцепочечных жирных кислот (относительно метилпальмитата)

[*James A. T.*, Meth. Biochem. Anal. **8**, 1 (1960); *Recourt J. H.*, Unilever Research Laboratory, Vlaardingen, Holland]

Кислота (сокращение)[a]	Стационарная фаза (и условия)				
	Апьезон L (197°C)	Апьезон M (197°C)	Реоплекс 400 (197°C)	Полиэтиленгликольадипинат (180°C)	Полидиэтиленгликольсукцинат (203°C)
н-Пентановая (5:0)	0,008				
н-Гексановая (6:0)	0,013				
4-Метилгексановая (7:0, разв. ас. изо)	0,017				
н-Гептановая (7:0)	0,019				
6-Метилгептановая (8:0, разв. ас. изо)	0,024				
н-Октановая (8:0)	0,030			0,060	
6-Метилоктановая (9:0, разв. ас. изо)	0,041				
н-Нонановая (9:0)	0,047			0,082	
8-Метилнонановая (10:0, разв. изо)	0,061				
н-Декановаая (10:0)	0,073	0,069	0,179	0,134	
8-Метилдекановая (11:0, разв. ас. изо)	0,10				
н-Ундеканоная (11:0)	0,117	0,112	0,232	0,183	
10-Метилундекановая (12:0, разв. изо)	0,15				
н-Додекановая (12:0)	0,18	0,18	0,286	0,26	0,36
10-Метилдодекановая (13:0, разв. ас. изо)	0,242				
Неопределенно разветвленная тридекановая (13:0, разв.)		0,203 0,234			
н-Тридекановая (13:0)	0,250	0,267	0,388	0,362	
н-Тетрадекатриеновая (14:3)	0,291			0,90	
н-Тетрадекадиеновая (14:2)					
н-Тетрадеценовая (14:1)	0,39	0,38	0,634	0,615	
Неопределенно разветвленная тетрадекановая (14:0, разн.)		0,37			
н-Тетрадекановая (14:0)	0,42	0,416	0,555	0,51	0,60
Неопределенно разветвленная пентадекановая (15:0, разв.)	0,55	0,548			
12-Метилтетрадекановая (15:0, разв. ас. изо)	0,58				
Неопределенно разветвленная пентадекановая (15:0, разв.)		0,52			
н-Пентадекановая (15:0)	0,66	0,65		0,705	
Гексадекатетраен-6,9,12,15-овая ($16{:}4^{6,9,12,15}$)		0,74	1,97		
Гексадекатриен-6,9,12-овая ($16{:}3^{6,9,12}$)		0,77	1,59		
Гексадекадиен-9,12-овая ($16{:}2^{9,12}$)		0,79	1,39		
Гексадекадиен-6,9-овая ($16{:}2^{6,9}$)		0,86	1,28		
8-Гексадеценовая ($16{:}1^{8}$)		0,89	1,13		
цис-Гексадецен-9-овая (*цис*-$16{:}1^{9}$)	0,90	0,89	1,13	1,15	1,17
транс-Гексадецен-9-овая (*транс*-$16{:}1^{9}$)	0,92			1,15	
н-Гексадекановая (16:0)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Дигидрогидноскарповая	1,43[6]			1,66[в]	
н-Гептадеценовая (17:1)	1,31			1,62	
14-Метилгептадекановая (17:0, разв. ас. изо)	1,38				
н-Гептадекановая (17:0)	1,51	1,55	1,32	1,40	
Октадекатетраен-6,9,12,15-овая ($18{:}4^{6,9,12,15}$)		1,72	3,48		
цис,цис,цис-Октадекатриен-9,12,15-овая (*цис*-$18{:}3^{9,12,15}$)	1,93	1,84	2,95	3,51	
цис,цис,цис-Октадекатриен-6,9,12-овая (*цис*-$18{:}3^{6,9,12}$)	1,76[6]			2,84[в]	
цис,транс,транс-Октадекатриен-9,11,13-овая (*цис,транс,транс*-$18{:}3^{9,11,13}$)	3,82				

Кислота (сокращение)[а]	Стационарная фаза (и условия)				
	Апьезон L (197°C)	Апьезон M (197°C)	Реоплекс 400 (197°C)	Полиэтиленгликольадипинат (180°C)	Полидиэтиленгликольсукцинат (203°C)
транс,транс,транс-Октадекатриен-9,11,13-овая (*транс*-18:3^{9,11,13})	4,44				
цис,цис-Октадекадиен-9,12-овая (*цис*-18:2^{9,12})	1,9	1,81	2,38	2,69	2,40
цис,транс-Октадекадиен-9,11-овая (*цис,транс*-18:2^{9,11})	2,56				
транс,цис-Октадекадиен-10,12-овая (*транс,цис*-18:2^{10,12})	2,56				
транс,транс-Октадекадиен-9,11-овая (*транс*-18:2^{9,11})	3,09				
транс,транс-Октадекадиен-10,12-овая (*транс*-18:2^{10,12})	3,09				
Октадекадиен-6,9-овая (18:2^{6,9})		1,81	2,56		
цис-Октадецен-9-овая (*цис*-18:1^{9})	2,03	2,08	2,02	2,21	1,93
транс-Октадецен-9-овая (*транс*-18:1^{9})	2,12			2,21	
цис-Октадецен-6-овая (*цис*-18:1^{6})	2,09			2,22	
цис-Октадецен-4-овая (*цис*-18:1^{4})	2,12			2,23	
транс-Октадекаен-4-овая (*транс*-18:1^{4})	2,22				
н-Октадекановая (18:0)	2,36	2,39	1,79	1,97	1,66
Дигидрохаульмугровая	3,52[б]			3,18[в]	
цис,цис,цис-Нонадекатриен-7,10,13-овая (*цис*-19:3^{7,10,13})	2,62[б]			3,85[в]	
цис,цис-Нонадекадиен-10,13-овая (*цис*-19:2^{10,13})	2,92[б]			3,48[в]	
н-Нонадекановая (19:0)					
Эйкозапентаен-5,8,11,14,17-овая (20:5^{5,8,11,14,17})	3,48	3,48	6,64	8,5	
Эйкозатетраен-8,11,14,17-овая (20:4^{8,11,14,17})		3,48	5,35		
Арахидоновая (20:4^{5,8,11,14})	3,48	3,48	5,28	6,56	
Эйкозатриеновая неопределенная (20:3)	3,65	3,92	4,80	5,96	
Неопределенные (20:2)		4,5	3,88		
(20:1)		4,75	3,57		
(20:0)	5,8	5,83	3,15	3,87	
(21:0)		8,72			
(22:6^{4,7,10,13,16,19})	7,15	7,15	13,5	18,2	
(22:5^{5,8,11,14,17})		7,88	12,2		
(22:1)	10,9			8,15	
(22:0)		14,2	6,8		4,67
(26:0)					13,8

[а] Разв. – разветвленная, ас. – асимметричная. [б] При 205°C. [в] При 175°C.

9. Стероиды

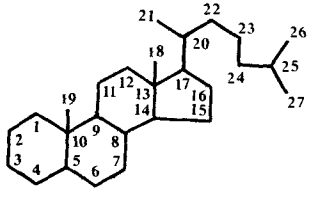
Номенклатура см. [Rules for steroid nomenclature, Pure Applied Chemistry **31**, 283 (1972); BJ **113**, 5 (1969); BJ **127**, 613 (1972)].

Аналитические методы см. [*Heftmann E.* (ed.), Modern methods of steroid analysis, Academic Press, 1973; *Breuer H., Hamel D., Kruskemper H. R.* (eds.), Methods of hormone analysis, John Wiley, 1976; *Ryan J. J.*, Chromatographic analysis of hormone residues in food, J. Chromatog. **127**, 53–89 (1976); *Gorog S., Szasz G.*, Analysis of steroid hormone drugs, Elsevier (1978)].

Биологические данные. Общие сведения по фармакологическим свойствам стероидных гормонов можно найти в [The Merck index of chemicals and drugs, Merck and Co. Inc., Rahway NJ, USA; The extra pharmacopoeia, The Pharmaceutical Press, London].

Данные по эталонным и меченным изотопами стероидам: 1) в настоящее время коммерчески доступен широкий набор стероидов. Две компании специализируются на производстве стероидов – это Steraloids Inc., Wilton, NH, 03086, USA; IKapharm, PO Box 31, Ramat-Gan, Israel; 2) небольшие количества стероидов также можно получить от Medical Research Council Steroid Reference Collection. Заявки следует посылать по адресу: Dr D. F. Johnson, Department of Health, Education and Welfare, NIH Bldg 4, Room 135, Bethesda, MD, 20014, USA; 3) широкий набор стероидов, меченных радиоактивными изотопами, в настоящее время можно получить от Amersham International plc Bucks, UK; New England Nuclear Corporation, Boston, MA, USA; Centre d'Étude de L'Énergie Nucléaire, Mol-Donk, Belgium.

Нумерация атомов углерода в стероидах в настоящем разделе принята по системе, продемонстрированной ниже на примере холестана.

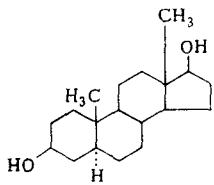


Обзоры по следующим направлениям: 1) структурно-функциональные соотношения андрогенов [Androgens and antiandrogens, L. Martini, M. Motta (eds.) Raven Press, 1977]; 2) структурно-функциональные соотношения кортикостероидов [Glucocorticoid hormone action, Monographs on endocrinology, V. D. Baxter, G. G. Rousseau (eds.) Springer-Verlag, 1979]; 3) физиологическое действие прогестерона и фармакологические действия прогестагенов [Postgrad. Med. J. **54** (Supp. 2), 11–24 (1978)].

Соединение (синонимы)	Формула, молекулярная масса	Свойства

Андрогены (природные)

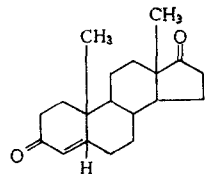
Андростандиол (5α-андростандиол-3β,17β)



M 292,4

$t_{пл}$ 117 ÷ 118. Метаболит тестостерона. Андрогенная активность ~ 60% активности тестостерона.

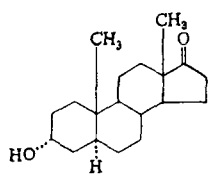
Андростендион (андростен-4-дион-3,17; 4-андростен-3,17-дион)



M 286,4

Крист. из гексана. $t_{пл}$ 170 ÷ 174. Раств-сть: р. бенз., EtOH, $CHCl_3$. λ_{max} 239 нм. Выделяется половыми железами и надпочечниками. Андрогенная активность ~ 20% активности тестостерона

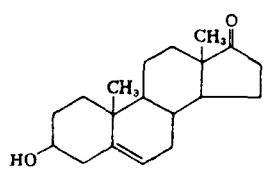
Андростерон (3α-гидрокси-5α-андростанон-17; 3α-гидрокси-5α-андростан-17-он)



M 290,4

Листочки или иглы из EtOH или ац. $t_{пл}$ 183,5. Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств. Метаболит тестостерона и андростендиона, содержится в моче. Андрогенная активность 10% активности тестостерона

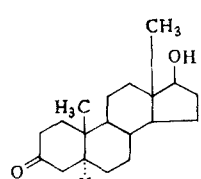
Дегидроэпиандростерон (3β-гидрокси-5-андростен-17-он; 3β-гидроксиандростен-5-он-17; дегидроизоандростерон; *транс*-дегидроандростерон; дегидроандростерон)



M 288,4

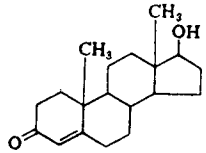
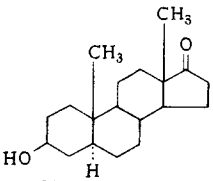
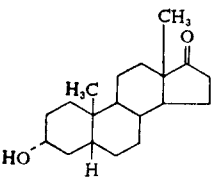
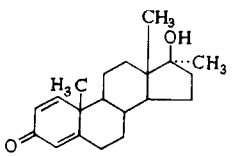
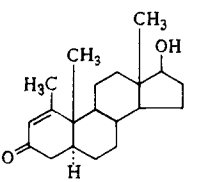
Диморф. крист. из смеси бенз.–петр. эф. $t_{пл}$ 148 (иглы); 152 (пластинки). Раств-сть: р. бенз., эф., EtOH; м. р. $CHCl_3$, петр. эф.; ум. р. CCl_4. Выделяется гл. обр. надпочечниками (ретикулярная зона, секретируется в виде сульфата). Андрогенная активность ~ 10% активности тестостерона.

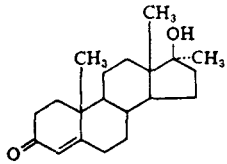
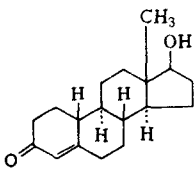
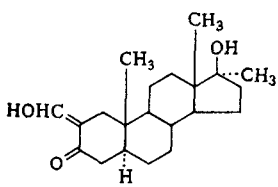
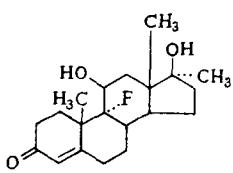
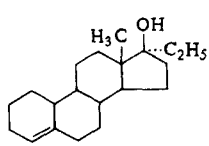
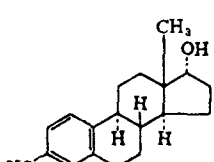
5α-Дигидротестостерон (17β-гидрокси-5α-андростан-3-он; андростанолон; станолон; *алло*-дигидротестостерон; 17β-гидрокси-5α-андростанон-3)

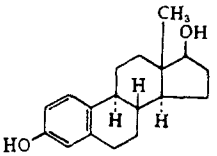
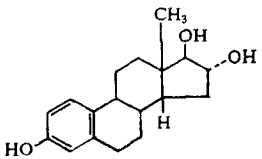
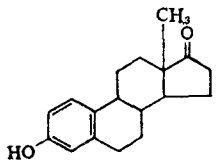
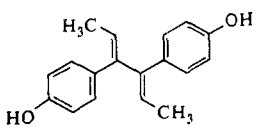
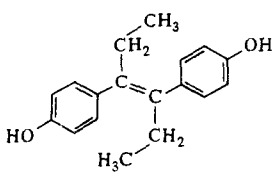
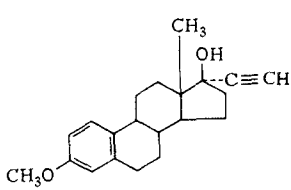


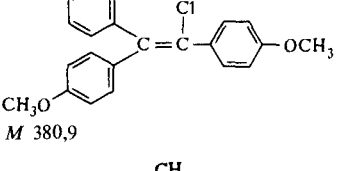
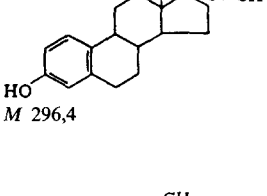
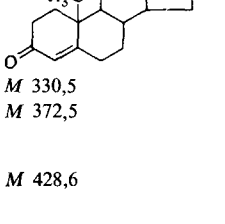
M 290,4

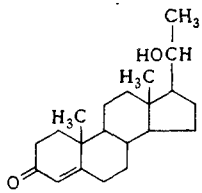
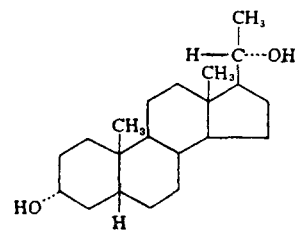
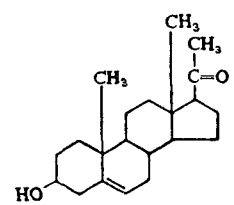
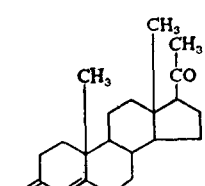
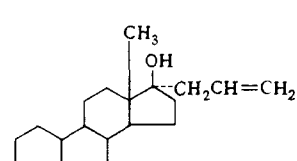
$t_{пл}$ 180 ÷ 181. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф., многие орг. раств-ли, растительные масла. Активный метаболит тестостерона, возможно активное андрогенное действие внутри ядра клетки-мишени. По андрогенной активности близок тестостерону. 17-Валерат использ. клинически как анаболический, антиэстрогенный андроген.

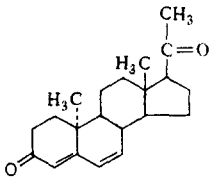
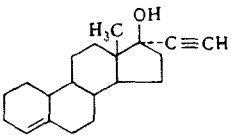
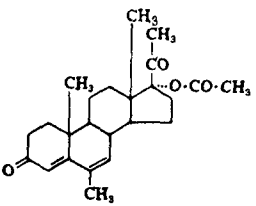
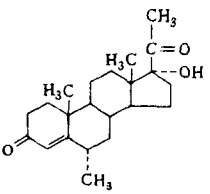
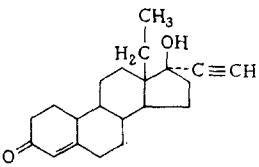
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Тестостерон (17β-гидрокси-4-андростен-3-он; 4-андростен-17β-ол-3-он; 17β-гидроксиандростен-4-он-3; андростен-4-ол-17β-он-3)	 *M* 288,4	Иглы из ац. $t_{пл}$ 155. Раств-сть: н. р. H_2O ($1{,}3 \cdot 10^{-4}$ моль/л); р. EtOH, эф., многие орг. раств-ли, растительные масла; 6%-ная сыворотка кролика ($3{,}3 \cdot 10^{-3}$ моль/л). λ_{max} 239 нм (lg ε 4,23). Главный мужской половой стероидный гормон. Первично образуется в половых железах. В мужском организме превращается в аидростерон, этиохоланолон и эпиандростерон. Для клинического использ. доступен в виде эфиров (напр., пропионовой, фенилпропионовой, изокапроновой, энантовой кисл.).
Эпиандростерон (*транс*-андростерон; 3β-гидрокси-5α-андростан-17-он; изоандростерон; 3β-гидрокси-5α-андростанон-17)	 *M* 290,4	Крист. из EtOH. Раств-сть: р. эф.; бенз., EtOH, MeOH. Выделяется с мочой; метаболит предшественников, образующихся в надпочечниках и половых железах. Андрогенная активность 1% активности тестостерона.
Этиохоланолон (3α-гидрокси-5β-андростан-17-он; 3α-гидрокси-5β-андростанон-17)	 *M* 290,4	Иглы из гексана. Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. Выделяется с мочой; метаболит тестостерона и андростендиона. Андрогенная активность <1% активности тестостерона.
Андрогены и анаболические стероиды (синтетические)		
Метандростенолон (17α-метил-17β-гидроксиандроста-1,4-диен-3-он; 17α-метил-17β-гидроксиандростадиен-1,4-он-3)	 *M* 300,4	Крист. из смеси ац. – эф. $t_{пл}$ 163 ÷ 164. λ_{max} 245 нм (lg ε 4,19). Анаболический стероид с небольшой андрогенной активностью.
Метенолон (17β-гидрокси-1β-метил-5α-андрост-1-ен-3-он; 17β-гидрокси-1β-метил-5α-андростен-1-он-3)	 *M* 302,4	Крист. из смеси изопропил. спирт – эф. $t_{пл}$ 149 ÷ 152. Ацетат, энантат имеют фармакол. применение как активные анаболические агенты (перорально).

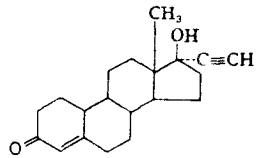
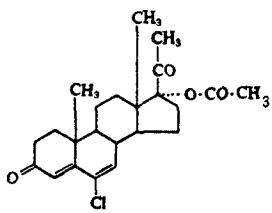
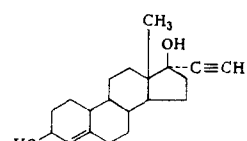
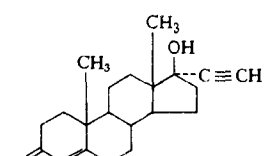
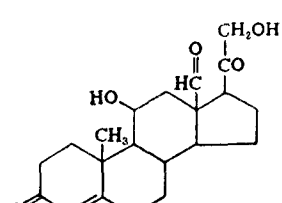
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Метилтестостерон (17α-метилтестостерон; 17α-метил-4-андростен-3-он-17β-ол; 17α-метиландростен-4-он-3-ол-17β)	 *M* 302,4	Крист. $t_{пл}$ 161 ÷ 166. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, ац., MeOH, бенз.; ум. р. растительные масла. λ_{max} (EtOH) 241 нм (lg ε 4,20). Активный андроген (применяется перорально).
Нандролон (17β-гидроксиэстр-4-ен-3-он; 17β-гидроксиэстрен-4-он-3)	 *M* 274,4	Крист. Имеет 2 крист. формы: $t_{пл}$ 112 и 124. Раств-сть: р. EtOH, эф., $CHCl_3$. λ_{max} 241 нм (lg ε 3,23). Циклогексанпропионатное, циклогексанкарбоксилатное и фурилпропионатное производные имеют фармакол. применение как активные анаболические агенты (перорально).
Оксиметолон (17β-гидрокси-2-(гидроксиметилен)-17α-метил-5α-андростан-3-он; 17β-гидрокси-2-(гидроксиметилен)-17α-метил-5α-андростанон-3)	 *M* 332,5	Крист. из Et-ацетата. $t_{пл}$ 178 ÷ 180. λ_{max} 285 нм (lg ε 3,99). Анаболический стероид; доступен также в виде енолацетата. Абс. λ_{max} 255 нм (lg ε 4,09); енолпропионат: λ_{max} 257 нм, lg ε 4,11 и енолбензоат: λ_{max} 230 нм, lg ε 4,19.
Флуоксиместерон (9α-фторо-11β,17β-дигидрокси-17α-метил-4-андростен-3-он; 9α-фторо-11β,17β-дигидрокси-17α-метиландростен-4-он-3)	 *M* 366,5	Крист. $t_{пл}$ 270 (разл.). λ_{max} (EtOH) 240 нм (lg ε 4,22). Анаболический стероид с андрогенной активностью.
Этилэстренол (17α-этилэстр-4-ен-17β-ол; 17α-этилэстрен-4-ол-17β)	 *M* 288,5	Крист. $t_{пл}$ 76 ÷ 78. Активный анаболический стероид с андрогениой активностью (применяется перорально).
Эстрогены (природные)		
Эстрадиол-17α (по старой тривиальной номенклатуре β-эстрадиол; 1,3,5-эстратриен-3,17α-диол; экстратриен-1,3,5-диол-3,17α)	 *M* 272,4 Гидрат: *M* 281,4	Иглы из водн. EtOH + $^1/_2$ H_2O. $t_{пл}$ гидрата 220 ÷ 223. Раств-сть: н. р. H_2O; х. р. EtOH, р. ац. и многие орг. раств-ли. λ_{max} 280 нм (lg ε 3,31). Минорный метаболит в мужском организме, но играет важную роль в др. организмах, биол. активность неизвестна.

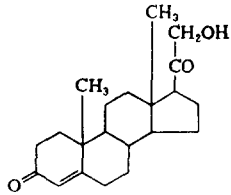
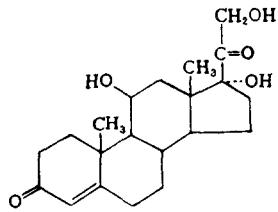
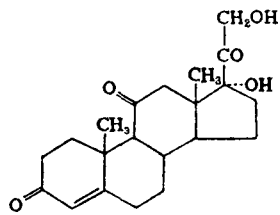
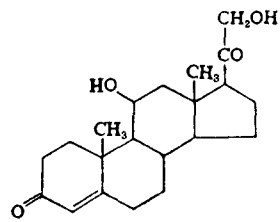
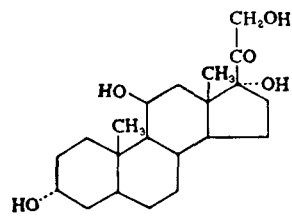
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Эстрадиол-17β (дигидроксиэстрин; 17β-эстрадиол; дигидроксиэстратриен; по старой тривиальной номенклатуре α-эстрадиол; 1,3,5-эстратриен-3,17β-диол; дигидротеелин; эстратриен-1,3,5-диол-3,17β)	 *M* 272,4	Призмы. $t_{пл}$ 173 ÷ 179. Раств-сть: н.р. H_2O; р. водн. щел., EtOH, ац. λ_{max} 280 нм (lg ε 3,28) и 225 нм. Главный женский гормон; найден также у мужских особей. В клинической практике используют эфиры.
Эстриол (1,3,5-эстратриен-3,16α,17β-триол; эстратриен-1,3,5-триол-3,16α,17β; тригидроксиэстрин; эстриол; теелол)	 *M* 288,4	Крист. $t_{пл}$ 282 (нормальная монокл. форма изменяется при 270 ÷ 275). Раств-сть: ум. р. H_2O; р. EtOH, $CHCl_3$, эф., пир., водн. щел. λ_{max} 280 нм. Важный метаболит эстрогена. Для оценки благополучного развития эмбриона в клиниках определяется уровень эстриола в материнской крови или моче.
Эстрон (1,3,5-эстратриен-3-ол-17-он; эстратриен-1,3,5-он-17-ол-3; теелин; фолликулин; эстрин)	 *M* 270,4	Крист. $t_{пл}$ 258 ÷ 262 (255). Раств-сть: 4,0 EtOH; 2,0 ац.; 1,0 $CHCl_3$; р. водн. щел.; н.р. H_2O. λ_{max} 280 нм (lg ε 3,49). Продуцируется в яичниках. Образуется также в периферийных тканях (печень, жир) из циркулирующего андростендиона.
Эстрогены (синтетические)		
Диенэстрол (4,4′-(диэтилиденэтилен)дифенол)	 *M* 266,3	Мелкие иглы из водн. EtOH. $t_{пл}$ 227 ÷ 228. Субл. 130 (1 мм Hg). Раств-сть: н.р. H_2O, кисл.; р. разб. щел.; р. EtOH, эф., $CHCl_3$, теплое растительное масло. Мощный эстроген. В клинической практике использ. диацетат ($t_{пл}$ 119), дипропионат ($t_{пл}$ 99 ÷ 102; р. раст. маслах), диизовалерат ($t_{пл}$ 112 ÷ 113), дибензоат ($t_{пл}$ 224), монометилат ($t_{пл}$ 142).
Диэтилстильбэстрол (стильбоэстрол; *транс*-4,4′-дигидрокси-α,β-диэтилстильбен)	 *M* 268,3	$t_{пл}$ 169 ÷ 172. Раств-сть: р. разб. водн. щел., ац., эф., $CHCl_3$, растительные масла; н.р. H_2O. Эстроген, активен при пероральном приеме.
Местранол (3-метокси-19-нор-17α-прегна-1,3,5(10)-триен-20-ин-17-ол; 3-метокси-19-нор-17α-прегнатриен-1,3,5(10)-ин-20-ол-17)	 *M* 310,4	Крист. из MeOH или ац. $t_{пл}$ 150 ÷ 151. Мощный эстроген, активен при пероральном приеме.

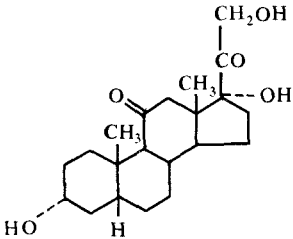
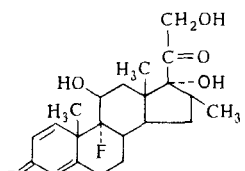
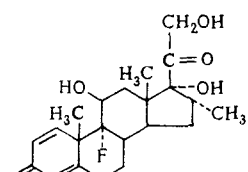
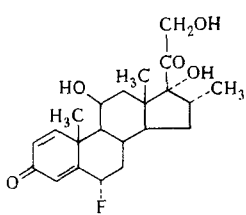
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Хлоротрианизен (хлоротрис(*n*-метоксифенил)этилен)	 *M* 380,9	Крист. из MeOH. $t_{пл}$ 114 ÷ 116. Раств-сть н. р. H_2O; р. лед. укс. кисл., ац., $CHCl_3$, бенз., растительные масла. Мощный эстроген, активен при пероральном приеме.
Этинилэстрадиол (19-нор-17α-прегна-1,3,5(10)-триен-20-ин-3,17β-диол; 17α-этинилэстра-1,3,5(10)-триен-3,17β-диол; 17α-этинилэстратриен-1,3,5(10)-диол-3,17β)	 *M* 296,4	Полугидрат: иглы (из водн. MeOH). $t_{пл}$ 146; 183 (теряет воду при темп. выше $t_{пл}$ 146). Раств-сть: н. р. H_2O; р. MeOH, EtOH, $CHCl_3$, ац., диоксан, эф. Существует в двух кристаллических формах. λ_{max} 248 нм. Активный эстроген при пероральном приеме. Доступен в виде 3-бензоата ($t_{пл}$ 202) и 3-ацетата ($t_{пл}$ 153).
Прогестагены (природные)		
17α-Гидроксипрогестерон (17-гидроксипрегнен-4-дион-3,20; 17-гидроксипрегн-4-ен-3,20-дион)	 *M* 330,5	Крист. из EtOH или ац. $t_{пл}$ 222 ÷ 223 (быстрое нагрев.). λ_{max} 240 нм. Важный промежуточный продукт биосинтеза половых гормонов. Оказывает гипертензивное действие на овец. Конкурентный ингибитор 5α-редуктазы.
ацетат	*M* 372,5	Крист. из смеси $CHCl_3$–MeOH. $t_{пл}$ 239 ÷ 240 (243–246). λ_{max} 240 нм (lg ε 4,33).
капроат	*M* 428,6	Крист. из смеси $CHCl_3$–MeOH. $t_{пл}$ 119 ÷ 121. Раств-сть: р. кунжутное масло (25 ÷ 29 мг/мл). Прогестаген длительного действия, используемый в клинической практике для инъекций.
20α-Дигидропрогестерон (20α-гидрокси-4-прегнен-3-он; 20α-гидроксипрогестерон; 4-прегнен-20α-ол-3-он; прегнен-4-он-3-ол-20α)	 *M* 316,5	$t_{пл}$ 166 ÷ 167. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, ац. λ_{max} 240 нм. Функционально важный метаболит прогестерона. Прогестаген с 20–33% активностью прогестерона. Ингибитор C-17,20-лиазной активности (K_i 9 мкМ).

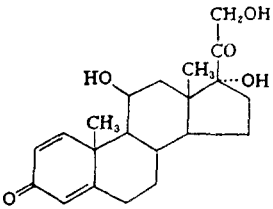
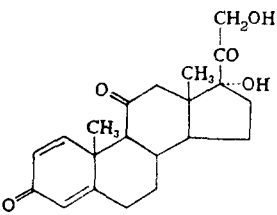
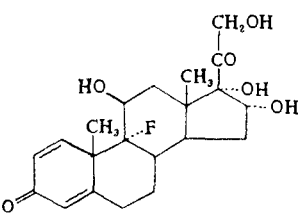
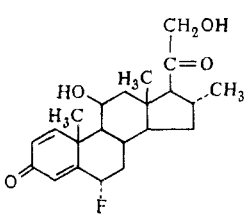
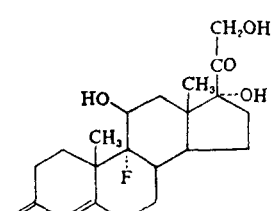
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
20β-Дигидропрогестерон (20β-гидрокси-4-прегнен-3-он; 20β-гидроксипрогестерон; 20β-гидроксипрегнен-4-он-3)	 *M* 316,5	$t_{пл}$ 170 ÷ 171. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, ац. λ_{max} 240 нм. Метаболит прогестерона, играющий важную роль в некоторых организмах. Прогестаген с 2-кратной активностью прогестероиа в тесте Хукера – Форбеса.
Прегнандиол (прегнан-3α,20α-диол; 5β-прегнан-3α,20α-диол; 5β-прегнандиол-3α,20α)	 *M* 320,5	Крист. из EtOH или ац. $t_{пл}$ 238. Раств-сть: ум. р. орг. раств-ли. Не осаждается дигитонином. Главный метаболит прогестерона в мужском организме; выделяется с мочой, его экскреция служит клиническим показателем продукции прогестерона.
Прегненолон (3β-гидрокси-5-прегнен-20-он; прегнен-5-он-20-ол-3β)	 *M* 316,5	Крист. из EtOH. $t_{пл}$ 190 ÷ 193. Раств-сть: о. ум. р. H_2O; р. EtOH, $CHCl_3$. Важный предшественник в биосинтезе стероидов в половых железах, надпочечниках и плаценте.
Прогестерон (прегнен-4-дион-3,20; лутеостерон; прогестин)	 *M* 314,4	α: призмы из EtOH. β: иглы из петр. эф. $t_{пл}$ α 127 ÷ 131; β 121. Раств-сть: н. р. H_2O ($4{,}2 \cdot 10^{-5}$ моль/л); р. EtOH, ац., конц. H_2SO_4; 6%-ная сыворотка крови ($1{,}1 \cdot 10^{-3}$ моль/л). λ_{max} 240 нм (lg ε 4,25). Главный сохраняющий беременность гормон; вырабатывается желтым телом и плацентой (1 мг = 10^6 ед.). Два типа кристаллов – это полиморфные формы одного и того же вещества.
Прогестагены (синтетические производные 19-норгестостерона)		
Аллилэстренол (17-аллил-эстрен-4-ол-17β; гестанон)	 *M* 300,5	Крист. $t_{пл}$ 79,5 ÷ 80. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH; ац., эф., $CHCl_3$. Чувствителен к окисл. Активный прогестагенный агент (при пероральном приеме).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Дидрогестерон (10α-прегнадиен-4,6-дион-3,20; 9β,10α-прегнадиен-4,6-диои-3,20; дуфастои)	 *M* 312,4	Крист. из ац.+гекс. $t_{пл}$ 169 ÷ 170. Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. λ_{max} 286,5 нм (lg ε 4,42). Активный прогестагенный агент (при пероральном приеме).
Линестренол (17α-этинилэстрен-4-ол-17β; оргаметрил)	 *M* 284,4	$t_{пл}$ 158 ÷ 160. Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. Активный прогестагенный агент (при пероральном приеме).
Мегестеролацетат (17α-ацетокси-6-метилпрегиадиен-4,6-дион-3,20)	 *M* 384,6	Крист. $t_{пл}$ 218 ÷ 220. Раств-сть: н. р. H_2O; р. $CHCl_3$, ац., бенз.; м. р. EtOH. λ_{max} (EtOH) 287,5 нм (lg ε 4,40). Активный прогестагенный агент (при пероральном приеме).
Медроксипрогестерон (17-гидрокси-6α-метилпрегнен-4-дион-3,20)	 *M* 344,5	Крист. из $CHCl_3$. $t_{пл}$ 220 ÷ 223,5. Ацетат: крист. из $CHCl_3$; $t_{пл}$ 207 ÷ 209. Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. λ_{max} (EtOH) 241 нм (lg ε 4,20). 17-Ацетат: λ_{max} 240 нм (lg ε 4,20). Активный прогестагенный агент (при пероральном приеме).
Норгестрель	 *M* 314,4	Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, ац., эф., $CHCl_3$. Активный прогестагенный агент (при пероральном приеме).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
19-Норэтистерон (17β-гидрокси-19-нор-17α-прегнен-4-ин-20-он-3; 19-нор-17α-этинилтестостерон)	 *M* 298,4	Крист. $t_{пл}$ 203 ÷ 204. Раств-сть: н. р. H_2O; р. $CHCl_3$, Et-ацетат, EtOH. λ_{max} (EtOH) 240 нм (lg ε 4,38). Ацетат: λ_{max} 240 нм (lg ε 4,28). Активный прогестагеиный агент (при пероральиом приеме).
ацетат	*M* 340,5	$t_{пл}$ 161 ÷ 162.
Хлормадинон (17α-ацетокси-6-хлорпрегнадиен-4,6-дион-3,20)	 *M* 404,9	Крист. $t_{пл}$ 210 ÷ 211. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, $CHCl_3$. λ_{max} (EtOH) 284–286 нм (lg ε 4,30). Активный прогестагенный агент (при пероральном приеме).
Этинодиол (19-нор-17α-прегнен-4-ин-20-диол-3β,17)	 *M* 300,4	Диацетат: крист. из MeOH. $t_{пл}$ 126 ÷ 127. Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. 3,17-Диацетат: активный прогестагенный агент (при пероральном приеме).
Этистерон (ангидрогидроксипрогестерон; 17α-этинил-4-андростен-17β-ол-3-он; 17α-этиниландростен-4-он-3-ол-17β; 17-этинилтестостерон; прегненинолон)	 *M* 312,4	Крист. $t_{пл}$ 266 ÷ 273. Раств-сть: н. р. H_2O; м. р. EtOH, $CHCl_3$, ац. λ_{max} 241 нм ($A^{1\%}_{1\ см}$ 513). Активиый прогестагенный агент (при пероральном приеме).
Кортикостероиды (природные)		
Альдостерон (электрокортин; 11β,21-дигидрокси-3,20-диоксопрегнен-4-аль-18; 18-оксокортикостерон)	 *M* 360,4	$t_{пл}$ безводн. 164; моногидрат 108–112. Раств-сть: р. $CHCl_3$, ац. Приведенная здесь форма находится в равновесии с 11,18-полуацеталем. Крист. $+1H_2O$ из смеси ацетон–H_2O. Главный минералокортикоид. Образуется в корковом слое надпочечников под контролем системы ренин–ангиотензин. Стимулирует транспорт Na через почечные канальцы.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Дезоксикортикостерон (4-прегнен-21-ол-3,20-дион; прегнен-4-дион-3,20-ол-21; 21-гидроксипрогестерон; 17α-(1-оксо-2-гидроксиэтил)-андростен-4-он-3; DOCA–ацетат)	 *M* 330,4	Пластинки; крист. из эф. $t_{пл}$ 141 ÷ 142. Раств-сть: р. EtOH, ац., эф., ум. р. H_2O. λ_{max} 240 нм. Минералокортикоид; способность задерживать Na в организме составляет ~ 5% способности альдостерона; ацетат использ. в клинической практике (*M* 372,5; $t_{пл}$ 154 ÷ 160; м. р. MeOH, EtOH, ац., эф.).
Кортизол (4-прегнен-11β,17α,21-триол-3,20-дион; прегнен-4-дион-3,20-триол-11β,17α,21; вещество F (по Кендаллу); гидрокортизон; 17-гидроксикортикостерон)	 *M* 362,4	Крист. из EtOH. $t_{пл}$ 217 ÷ 220. Раств-сть: м. р. H_2O; р. лед. укс. кисл., диоксан, $CHCl_3$, MeOH. λ_{max} 242 нм (lg ε 4,20). Мощный глюкокортикоид. Динатриевая соль кортизол-21-фосфата: р. H_2O.
Кортизон (4-прегнен-17α,21-диол-3,11,20-трион; прегнен-4-трион-3, 11, 20-диол-17α, 21; 17-гидрокси-11-дегидрокортикостерон; 17-(1-оксо-2-гидроксиэтил)-4-андростен-3,11-дион-17-ол; 17-(1-оксо-2-гидроксиэтил)андростен-4-дион-3,11-ол-17; вещество E (по Кендаллу))	 *M* 360,4	Крист. из EtOH. $t_{пл}$ 215. Раств-сть: р. MeOH, EtOH, ац.; м. р. эф., бенз., $CHCl_3$; ум. р. H_2O (0,028). λ_{max} 237 нм (lg ε 4,15). Глюкокортикоид с ~ 70% активностью кортизола. Динатриевая соль кортизон-21-фосфата: р. H_2O.
Кортикостерон (4-прегнен-11β,21-диол-3,20-дион; прегнен-4-дион-3,20-диол-11β,21; 17β-(1-оксо-2-гидроксиэтил)-4-андростен-3-он-11β-ол; 11,21-дигидроксипрогестерон; вещество B (по Кендаллу))	 *M* 346,4	Пластинки из ац.; иглы + EtOH из EtOH. $t_{пл}$ 182. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, орг. раств-ли. λ_{max} 240 нм. Активный глюкокортикоид с некоторой минералокортикоидной активностью; образуется в надпочечниках под контролем. АКТГ.
Тетрагидрокортизол (прегнан-3α,11β,17α,21-тетрол-20-он; прегнанон-20-тетрол-3α,11β,17α, 21; THE)	 *M* 366,5	Крист. $t_{пл}$ диацетата 209 ÷ 211. Раств-сть: р. ац., бенз., $CHCl_3$. Найден в виде конъюгата в моче человека. Главный метаболит кортизола.

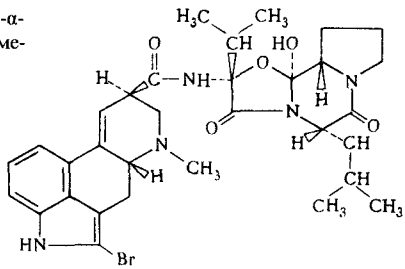
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Тетрагидрокортизон (прегнан-3α,17α,21-триол-11,20-дион; прегнандион-11,20-триол-3α,17α,21; THF)	 *M* 364,5	Крист. $t_{пл}$ диацетата 232 ÷ 234. Раств-сть: р. ац., бенз., $CHCl_3$. Главный метаболит кортизола, содержащийся в моче.
Кортикостероиды (синтетические)		
Бетаметазон (9-фторо-11β,17,21-тригидрокси-16β-метилпрегнадиен-1,4-дион-3,20)	 *M* 392,5	Крист. из Et-ацетата. $t_{пл}$ 231 ÷ 236 (разл.). λ_{max} 238 нм (lg ε 4,18). Сильный глюкокортикоид, активный при пероральном приеме. Динатриевая соль бетаметазон-21-фосфата: р. H_2O.
Дексаметазон (9-фторо-11β,17,21-тригидрокси-16α-метилпрегна-1,4-диен-3,20-дион; 9-фторо-11β,17,21-тригидрокси-16α-метилпрегнандиен-1,4-дион-3,20)	 *M* 392,5	Крист. $t_{пл}$ 268 ÷ 271. Раств-сть: ум. р. H_2O ($0{,}01^{25}$). Сильный глюкокортикоид, активный при пероральном приеме. Использ. в биохим. исследованиях для индукции тирозинаминотрансферазы из печени. Динатриевая соль дексаметазон-21-фосфата: р. H_2O. λ_{max} 238–239 нм (lg ε 4,15).
Параметазон (6α-фторо-11β,17α,21-тригидрокси-16α-метилпрегнадиен-1,4-дион-3,20)	 *M* 392,5	Раств-сть: ум. р. H_2O. Глюкокортикоид. Динатриевая соль параметазон-21-фосфата: р. H_2O.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Преднизолон (11β,17α,21-тригидрокси-1,4-прегнадиен-3,20-дион; 11β,17α,21-тригидроксипрегнадиен-1,4-дион-3,20)	 *M* 360,5	Крист. $t_{пл}$ 241 (разл.). Раств-сть: о. п. р. H_2O; 3,3 EtOH; 0,55 $CHCl_3$; 2 ац. λ_{max} 242 нм (lg ε 4,18 в MeOH). Сильный глюкокортикоид. Динатриевая соль преднизолон-21-фосфата, р. H_2O.
Преднизон (17α,21-дигидрокси-1,4-прегнадиен-3,11,20-трион; прегнадиен-1,4-трион-3,11,20-диол-17α,21)	 *M* 358,5	Крист. из ац.+гексан. $t_{пл}$ 234 (разл.). Раств-сть: ум. р. H_2O; 0,67 EtOH; 0,5 $CHCl_3$ λ_{max} 238 нм (lg ε 4,18 в MeOH). Глюкокортикоид.
Триамцинолон (9α-фторо-11β,16α,17α,21-тетрагидрокси-1,4-прегнадиен-3,20-дион; 9α-фторопрегнадиен-1,4-дион-3,20-тетраол-11β,16α,17α,21)	 *M* 394,4	Сольватированные крист. $t_{пл}$ 260 ÷ 262. Раств-сть: р. Et-ацетат, ац., EtOH, $CHCl_3$. λ_{max} 238 нм (lg ε 4,20). Сильный глюкокортикоид. 16,17-Ацетонид имеет фармакол. применение как местный противовоспалительный препарат.
Флуокортолон (6α-фторо-11β,21-дигидрокси-16α-метилпрегна-1,4-диен-3,20-дион; 6α-фторо-16α-метилпрегнадиен-1,4-дион-3,20-диол-11β,21)	 *M* 376,5	Крист. $t_{пл}$ 189 ÷ 190. Раств-сть: ум. р. H_2O ($0{,}029^{37}$); о. п. р. EtOH ($0{,}012^{20}$); ум. р. тол. ($0{,}044^{21}$). λ_{max} 242 нм (lg ε 4,21). Противовоспалительный кортикостероид.
9α-Фторогидрокортизон (9α-фторо-11β,17α,21-тригидрокси-4-прегнен-3,20-дион; 9α-фторокортизол; флудрокортизон; 9α-фторопрегнен-4-дион-3,20-триол-11β,17α,21)	 *M* 380,5	Крист. $t_{пл}$ 261 (разл.). Раств-сть: 0,014 H_2O; р. MeOH, EtOH, $CHCl_3$, лед. укс. кисл. λ_{max} (EtOH) 239 нм, lg ε 4,25. Активный при пероральном приеме минералокортикоид с небольшой глюкокортикоидной активностью. Динатриевая соль 9α-фторогидрокортизон-21-фосфата р. H_2O.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

Прочие стероиды

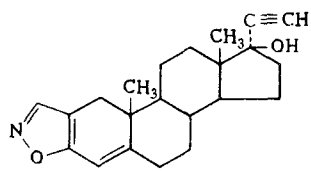
Бромокриптин (2-бромо-α-эргокриптин; парлодель: мезитилат бромокриптина)



M 654,6

Представляет собой активную гр. пептидного алкалоида спорыньи. Агонист допаминового рецептора. На практике использ. для подавления действия пролактина и секреции α-MSH [Acta Endocrinologica Supp. 216, **88**, 111 (1978)]. Неуст. на свету.

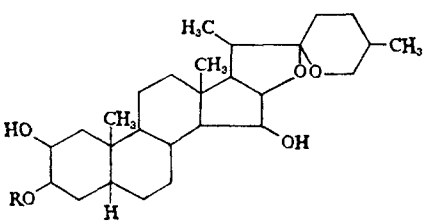
Даиазол (17α-прегна-2,4-диен-20-ино[2,3-*d*]изоксазол-17-ол; 17α-прегнадиен-2,4-ино-20[2,3-*d*]изоксазолол-17)



M 337,5

Крист. $t_{пл}$ 225. Раств-сть: н. р. H_2O; р. $CHCl_3$, ац. Антигонадотропное соединение, лишенное эстрогенной и прогестагенной активности. Использ. в клинической практике для лечения эндометриоза.

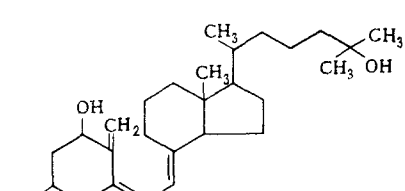
Дигитонин (дигитин)



R – пентасахарид (2 галактозы + 2 глюкозы + 1 ксилоза)
M 1229,3

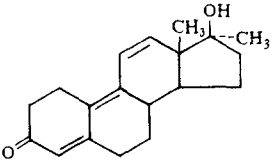
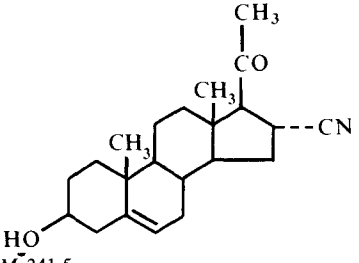
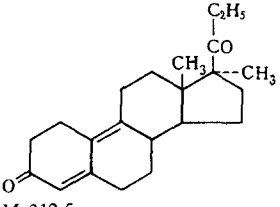
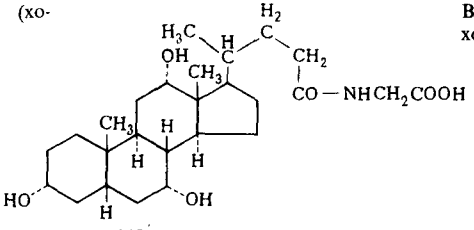
Крист. $t_{пл}$ 235 ÷ 240. Раств-сть: р. H_2O; 1,8 EtOH; н.р. $CHCl_3$. Получаемые преп. обычно имеют чистоту 80%. Образует эквимолярный нераств. комплекс со свободным холестерином. Осаждает также β-гидроксистероиды, кроме соединений эпи-C_{10}, и использ. с этой целью как анал. реагент. Агликон – дигитогенин: *M* 448,6; получ. см. [JACS **64**, 1843 (1942)]. Дигитонин использ. как ПАВ.

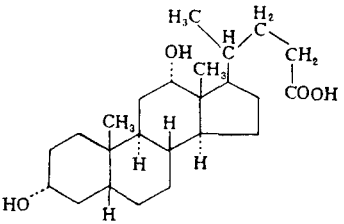
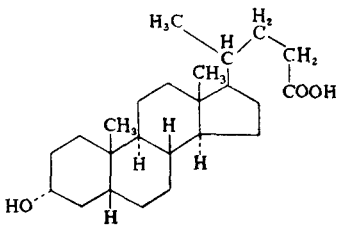
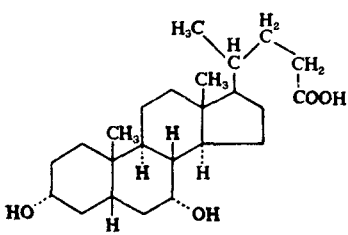
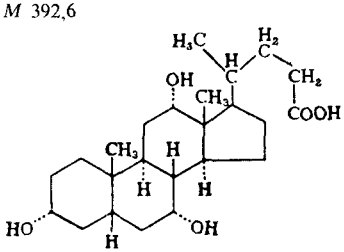
Кальцитриол (1,25-дигидроксихолекальциферол; 9,10-секо(5Z,7E)-5,7,10(19)-холестатриен-1α,3β,25-триол; 1,25-дигидроксивитамин D_3; 9,10-секо(5Z,7E)холестатриен-5,7,10(19)-триол-1α.3β,25)



M 416,6

Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. Главный почечный гормон; наиболее активно участвует в контроле транспорта Ca в кишечнике. Клетки слизистой оболочки содержат специфический рецептор в цитоплазме, который транспортируется в клеточный хроматин. В клинической практике использ. для поддержания больных гипокальциемией, находящихся на хроническом диализе.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Метилтриенолон (17β-гидрокси-17α-метилэстра-4,9,11-триен-3-он; 17α-метилэстратриен-4,9,11-он-3-ол-17β)	 *M* 284,4	Синт. лиганд, использ. в исследовании андрогенных рецепторов. Связывается с прогестиновыми рецепторами в некоторых тканях. См. [Steroids **28**, 449 (1976)].
Прегненолон-16α-карбонитрил (3β-гидрокси-20-оксо-5-прегнен-16α-карбонитрил; 3β-гидрокси-20-оксопрегнен-5-карбонитрил-16α)	 *M* 341,5	Кататоксический стероид, индуктор монооксигеназной системы печени, метаболизирующей лекарства. См. [Steroids **31**, 849 (1978)].
Промгестон (17α,21-диметил-19-норпрегна-4,9-диен-3,20-дион; 17α,21-диметил-19-норпрегнадиен-4,9-дион-3,20)	 *M* 312,5	Синт. лиганд, использ. в исследованиях прогестиновых рецепторов. См. [Contraception **10**, 457 (1974)].
Желчные кислоты		
Гликохолевая кислота (холилглицин)	 *M* 465,7	В желчи также найден гликодезоксихолат.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Дезоксихолевая кислота (3α,12α-дигидроксихолановая кислота)	 *M* 392,6	Крист. из EtOH или 60%-ной водн. укс. кисл. $t_{пл}$ 172 ÷ 176. Раств-сть: 0,02 H_2O; >20 EtOH; о. п. р. эф.; р. щел. Найдена в желчи в виде конъюгата с глицином или таурином. Не осаждается дигитонином. $pK \sim 6{,}6$. О. уст. координационные соединения, известные как холеиновые кислоты, образуются с кисл., сложными и простыми эфирами, спиртами, фенолами, углеводородами и алкалоидами. Холеиновая кисл., образующаяся при участии стеариновой кислоты, содержит 8 молекул дезоксихолевой кисл. и 1 молекулу стеариновой кислоты.
Литохолевая кислота (3α-гидроксихолановая кислота)	 *M* 376,6	Крист. из EtOH или лед. укс. кисл. $t_{пл}$ 184 ÷ 186. Раств-сть: р. гор. EtOH, Et-ацетат, $CHCl_3$, лед. укс. кисл., гор. NaOH, $NaHCO_3$; ум. р. эф.; н. р. H_2O, лигроин. Найдена в желчи в виде конъюгата с глицином и таурином.
Таурохолевая кислота (холилтаурин)	$RNH(CH_2)_2SO_3H$ R – холил; *ср.* гликохолевая кислота *M* 515,8	В желчи найден также тауродезоксихолат.
Хенодезоксихолевая кислота (3α,7α-дигидроксихолановая кислота)	 *M* 392,6	Крист. из Et-ацетата. $t_{пл}$ 140. Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. MeOH, EtOH, укс. кисл. Найдена в виде конъюгатов с глицином и таурином в желчи.
Холевая кислота (3α,7α,12α-тригидроксихолановая кислота; холаловая кислота)	 *M* 408,6 Гидрат: *M* 426,6	Пластинки (+H_2O) из H_2O; крист. +EtOH из EtOH. $t_{пл}$ безводн. 196 ÷ 198. Раств-сть: 0,028^{20} H_2O; 3,0 EtOH; м. р. эф.; р. укс. кисл., ац., $CHCl_3$, щел. Найдена в желчи многих животных преимущественно в виде конъюгатов с глицином или таурином. Не осаждается дигитонином. pK_a 6,4. Может крист. +1EtOH или 1 H_2O, которые удаляются только при длительном нагрев. Раств. в конц. H_2SO_4, давая желт. раств. с зеленой флуоресценцией.

10. Порфирины и родственные соединения

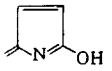
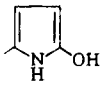
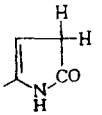
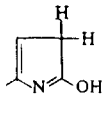
Используемая литература. В скобках приведено используемое в данном разделе сокращение при цитировании работы.

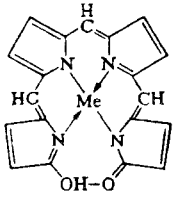
Fischer H., Orth H., Die Chemie des Pyrrols, vol. 2, Academische Verlagsgesellschaft M. B. H., Leipzig, 1937 (*Fischer–Orth*).
Lemberg R., Legge J. W. Haematin compounds and bile pigments, lst ed., Interscience, New York, 1949, (*Lemberg–Legge*).
Falk J. E. Porphyrins, Elsevier, Amsterdam, 1964 (*Falk*).
Abderhalden's Handbuch der Biolog. Arbeitsmethoden, Abt. **1**, Teil 11, p. 169 (1936) (*Fischer–Abderhalden*).
Handbook of biological data, W. S. Spector (ed.) pp. 35–36, Table 26 III, Division of Biology and Agriculture, The National Academy of Sciences, 1956.
Handbook of respiration, D. S. Dittmer, R. M. Grebe (eds.), pp. 118–23, Division of Biology and Agriculture, The National Academy of Sciences, 1958.
Porphyrins and metalloporphyrins, K. M. Smith (ed.), Elsevier, Amsterdam, 1978 (*Smith*)
Pophyrins, D. Dolphin (ed.), Academic Press, N. Y., 1978 (*Dolphin*).

Литература, относящаяся к разд. Г «Хлорофиллы и родственные пигменты», обсуждается в замечаниях к этому разделу.

А. Желчные пигменты и родственные соединения

Все обычные природные желчные пигменты можно считать производными протопорфирина-IX (см. разд. Б «Порфирины»), получаемыми окислительным расщеплением α-метиленовой связи. Поэтому они обозначаются IXα, и положение боковых цепей, таким образом, оказывается фиксированным. Боковые цепи либо идентичны таковым в протопорфиринах, либо винильные группы замещены этильными (*мезо*-соединения) или в фикохромопротеинах, по-видимому, α-замещенными этильными группами, довольно прочно связанными с белком.

Лактимное кольцо  может существовать и в прототропной лактамной форме , а кольцо, изображенное в виде α-гидроксипиррола ,– в таутомерных формах  и . Это позволяет таким соединениям, как стеркобилин, мезобилен или биливердин, имея почти планарную кольцевую структуру, образовывать комплексы с металлами, в которых один атом металла, напр. Cu или Zn, связан со всеми четырьмя атомами азота. Это кольцо, вероятно, стабилизируется водородными связями между концевыми α(> CO) и α′(⩾ COH)-группами, образующими кольца (*Lemberg–Legge*, p. 118]:



Желчные пигменты в физиологических условиях гидрируются с образованием набора

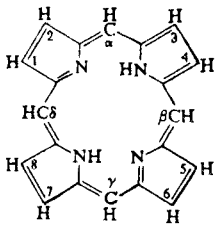
продуктов гидрирования биливердина вплоть до бесцветного стеркобилиногена. При этом затрагивается как тетрапиррольная система, так и винильные боковые цепи.

Литература

With T. K. Bile pigments, Academis Press, New York (1978).

Б. Порфирины (исключая хлорофиллпорфирины)

Порфирины можно считать производными порфина, получаемыми замещением всех или только некоторых из восьми β-водородов, например, на алкильную, гидроксиалкильиую, винильную, карбонильную или карбоксильную группу. В зависимости от расположения указанных заместителей в макроцикле возможны позиционные изомеры. В природных порфиринах ни одно пиррольное кольцо не содержит двух идентичных заместителей, так что для порфиринов только с двумя типами заместителей (этиопорфирин, копропорфирин, уропорфирин) возможны четыре изомера (I–IV, только III встречается в биологических объектах). В случае трех типов заместителей возможны уже 15 изомеров. Все порфирины и металлопорфирины, участвующие в метаболизме (простетические группы гемопротеинов, хлорофиллов, витамина B_{12}), относятся именно к такому типу производных (т. е. содержат три заместителя), а именно к изомеру 9 (систематически родственному этиопорфирину III).



порфин

Молекулы порфиринов можно считать практически планарными (диаметр 8,5 Å, толщина 4,7 Å), но в комплексах с металлами наблюдаются отклонения от планарности, которые в случае Fe-порфиринов могут играть важную роль в координации азотсодержащих лигандов. Помимо влияния на растворимость наличие и природа боковых цепей существенны и для распределения электронной плотности на атомах азота и, следовательно, окислительно-восстановительных потенциалов Fe-порфириновых комплексов.

Гидрирование пиррола (хлорофиллы) или его окисление (продукт фотоокисления протопорфирина) может в результате нарушения сопряжения двойных связей тетрапиррола приводить к образованию соединений зеленого цвета. Спектры таких соединений характеризуются интенсивной полосой поглощения в красной области; другие λ_{max} (и ε) в видимой области сходны у родственных порфиринов. Гидрирование порфиринового ядра по двум пиррольным атомам азота и по всем атомам углерода метиновых мостиков дает порфириногены, промежуточные соединения при биосинтезе порфиринов; известны также родственные не полностью гидрированные порфирины. Более полное обсуждение физических свойств порфиринов см. в [*Lemberg–Legge; Falk; Phillips*, Comprehensive Biochemistry, vol. 9, pp. 34–72, 1963].

Качественное и количественное определение. Наиболее важное значение в этой связи имеют спектральные характеристики. На положение (λ_{max}, нм) и интенсивность (ε) максимумов поглощения влияют электрофильность β-заместителей, уменьшающаяся в ряду —CHO > —$COCH_3$ > > —CH=CH_2 > алкил, и их положение по отношению к другим электрофильным заместителям: например, для 4-моноформилдейтеропорфирина III > IV > II > I (родотип, тип R); для 2,4-диформилдейтеропорфирина IV > III > II > I (этиотип, тип A); для 2-гидроксиалкил-4-винил-8-формил-8-дезметилдейтеропорфирина III > II > IV > I (оксородотип, тип OR). Замещение по метиновому мостику, как в случае филлопорфирина (γ-метил), дает филлотип (тип P) спектров с IV > II > III > I. Заметное влияние на спектры оказывают растворители.

Для дикатионов порфирина ε полосы Соре гораздо выше, чем для соответствующего

нейтрального порфирина; на этом основан чувствительный метод анализа. Формулы, применяемые при анализе поликарбоксильных порфиринов в водной HCl, приведены в работе [BJ **75**, 620, (1960); *Falk*, p. 223].

Флуорометрический метод анализа, хотя и очень чувствительный, нуждается в тщательном контроле условий эксперимента из-за сильного влияния растворителей и растворенных веществ.

Растворимость. Природные свободные порфирины – амфолиты (изоэлектрическая точка 3,5–4,5) и поэтому растворимы в минеральных кислотах и водных щелочах, особенно хорошо в водном аммиаке. На растворимость заметно влияют примеси, и точных сведений относительно растворимости чистых веществ пока очень мало. Как правило, свободные порфирины хорошо растворимы в ледяной уксусной кислоте, этилацетате, пиридине, циклогексаноне; растворимы в смеси ледяная уксусная кислота – эфир (кроме уропорфиринов), конц. H_2SO_4 и конц. NH_4OH; умеренно растворимы в $CHCl_3$, эфире (кроме уропорфиринов); малорастворимы или нерастворимы в спиртах; нерастворимы в H_2O, петролейном эфире. Метиловые эфиры имеют, как правило, бóльшую растворимость в органических растворителях, растворимы в бензоле, хорошо растворимы в $CHCl_3$. Они нерастворимы в щелочах и менее растворимы в водных средах. Комплексы порфиринов с металлами в общем имеют пониженную растворимость в органических растворителях. (Fe-Порфирины: х. р. в пир., смеси ацетон – HCl; н. р. или м. р. минер. кисл. Метиловые эфиры металлокомплексов: (как правило) р. в орг. раств-лях.) Неионные детергенты, например твин 80, повышают растворимость в водных средах; анионные и катионные детергенты, хотя и обладают аналогичным действием, гораздо меньше используются в биохимических экспериментах. Более подробно о растворимости см. [*Falk*, p. 142].

Хлороводородное число (HCl – число) порфирина определяется как концентрация HCl (%, масс./об.), которая требуется, чтобы из равного объема эфирного раствора порфирина экстрагировать $^2/_3$ содержащегося там порфирина. Этилацетатное хлороводородное число, которое используется для метиловых эфиров поликарбоксильных порфиринов, определяется аналогично, при этом вместо эфира используется этилацетат.

Метиловые эфиры порфиринов обычно хорошо кристаллизуются из смеси MeOH – $CHCl_3$; поликарбоксильные порфирины – из горячего MeOH; порфирины с карбонилами в боковых цепях – из смеси $CHCl_3$ – эфир; металлокомплексы или порфирины – из бензола. Для кристаллов возможны две $t_{пл}$ или полиморфизм. Кристаллы комплексов Me-эфиров порфиринов с Cu менее подвержены полиморфизму и имеют более четкие $t_{пл}$. Изомеры порфиринов можно изучать методом рентгеноструктурного анализа порошков.

Me-эфиры могут быть получены из свободных порфиринов с использованием диазометана или MeOH, содержащего 15% (масс./об.) безводного HCl или 5% (масс./об.) конц. H_2SO_4 (как правило, при 0°C). Диазометан реагирует быстрее, однако он может взаимодействовать с формильными группами заместителей, что не позволяет использовать его для геминов [BBA **71**, 150 (1963)].

Для идентификации тетрапирролов широко используется хроматография на бумаге. См. обзоры [J. Chromat. **5**, 277 (1961); *Smith*, p. 839]. Системы на основе смеси лутидин – H_2O используются для определения числа свободных карбоксильных групп. Используемый для этих же целей электрофорез на бумаге дает особенно хорошие результаты в случае порфиринов с 4–8 карбоксильными группами. Хроматография на бумаге Me-эфиров [JBC **190**, 643 (1951)] предпочтительна для идентификации порфиринов с электрофильными группами и различных изомеров; используется также тонкослойная хроматография [BBA **237**, 356 (1971)]. Жидкостная хроматография высокого давления нашла применение для разделения и количественной оценки содержания порфиринов в биологических жидкостях [Chromatogr. Sci. **10**, 103 (1979)]. Электрофорез на бумаге – важный метод для анализа и выделения микроколичеств веществ [Clin. Chim. Acta **7**, 301 (1962)].

Для идентификации свободных геминов [JBC **233**, 743 (1958)] и их Me-эфиров [JBC **212**, 1 (1955)] можно применять метод хроматографии на бумаге.

Несмотря на то что ИК-спектры нашли применение в основном для идентификации функциональных групп [Aust. J. Scient. Res. **4**, 519 (1951)], этот метод пригоден и в целях идентификации различных изомерных форм, например копропорфирина I и III [BJ **47**, 87 (1950); JBC **234**, 251 (1959)].

Общие указания. Все применяемые растворители должны быть свободны от пероксидов и Cu. Следует избегать длительного пребывания тетрапирролов на свету, так как возможно протекание фотохимических реакций.

B. Железопорфирины (гемы, гемины)

Структура и номенклатура. Атом Fe образует с четырьмя пиррольными атомами азота почти планарные координационные связи в плоскости порфиринового кольца. Пятая и шестая координационные позиции атома Fe расположены перпендикулярно плоскости порфирина. При общем описании предпочтительно использовать термин «гем» (например, гем-пептид, гемопротеин, феррогем, ферригем) независимо от валентности железа. Гематин – это соединение, содержащее трехвалентное железо (например, щелочной гематин, нейтральный гематин [*Lemberg – Legge* p. 170]). Гемин – это соединение трехвалентного железа, в котором анион, обычно галоген, координируется с атомом железа по пятому или шестому координационному положению. Названия некоторых железосодержащих порфиринов приведены в табл. 1. Хлорины – производные порфиринов, у которых сопряжение связей в макроцикле изменено (см. разд. Б «Порфирины»). Их железосодержащие комплексы также называются гемами, например гем a_2 из цитохрома a_2 [BJ **64**, 626 (1956)], Fe-хлорин (кристаллическая оксидаза из *Pseudomonas* [BBA **67**, 407 (1963)]). Общий термин «гем» используется иногда также для описания комплексов железа с непорфириновыми, но близкородственными тетрапиррольными соединениями, например вердогем [Proc. R. Soc. **B138**, 386 (1951)] или биливердингем [Rev. pure appl. Chem. **6**, 1 (1956)].

Таблица 1

Пиридинферрогемохром	α-полоса, нм	β-полоса, нм	Δα-полоса, нм (относительно дейтерогемохрома)
Дейтерогемохром (2:4-дигидросоединение)	545	513	
Мезогемохром (2:4 диэтилдейтеросоединение)	547	518	+2
Из цитохрома *c* (2:4-ди-(-CH(SR)CH_3))	550	522	+5
Протогемохром (2:4-дивинилдейтеросоединение)	557	525	+12
2-Ацетилдейтерогемохром	571	530	+26
Из пероксидазы молока (структура?)	565 ÷ 571		+20 ÷ 26
4-Формилдейтерогемохром	578	548	+33
Из хлорокруорина (2-формил-4-винилдейтеросоединение)	580	545	+35
Криптогемохром *a* (формил-, винил- или др. винилсоединения)	581	[BBA **35**, 496 (1959)]	+36
Оксородогемохрома эфир (2-ацетил-6-карбоксиэфир)	582	—	+37
2:4-Диформилдейтерогемохром	584	549	+39
Из цитохромоксидазы – гемохрома *a* (2-гидроксиалкил-4-винил-8-формилсоединение)	587	—	+42
Из миелопероксидазы (структура?)	590	—	45

Функциональная структура. Атом Fe гемов находится в сопряжении с конъюгированными связями макроцикла. Таким образом, изменение характера сопряжения в макроцикле, как в геме a_2, или варьирование участвующих в сопряжении заместителей в β-пирроле влияют на реакции атома Fe. Это влияние выражается в изменении либо окислительно-восстановительного потенциала (например, гем *a* и гем a_2) [Haematin enzymes, J. E. Falk, R. Lemberg, R. K. Morton. (eds.), p. 361, Pergamon Press, 1961], либо реакционноспособности, например сродства к кислороду у искусственных гемоглобинов [Arch B. B. **85**, 37 (1959)]. Другие изменения в свойствах простетической группы гема могут быть вызваны природой и пространственным расположением связей железо–белок.

In vivo гемы соединяются с белками и в спектрах ЭПР имеют высоко- или низкоспиновые характеристики. Взаимодействия лигандов см. [Adv. Biophysics **11**, 153 (1978)].

Ключевое свойство гемов – их способность поддерживать окислительно-восстановительное состояние системы. Окислительно-восстановительные потенциалы Fe-порфиринов и гемопротеинов см. [Handbook of Biochemistry, H. A. Sober (ed.), Chemical Rubber Co. Ohio, Section J. 35]. Обзор электронных свойств гемов см. [Adv. Biophys. **11**, 13 (1978)].

Количественный анализ гемов основан чаще всего на определении экстинкции α-полосы феррогемохрома; кроме того, используется также дифференциальный метод, основанный на сравнении экстинкции ферро-ферригемохромов [BJ **87**, 181 (1963)] при условии, что ферригемохром полностью окисляется. Электрофильно замещенные гемохромы трудно поддерживать в полностью окисленном состоянии.

Водный раствор гемов. Гемы растворимы в щелочных растворах или в водных детергентах при физиологических значениях pH [BJ **87**, 181 (1963)].

Характеристика простетических групп гемов – гемохромов. В качестве первого шага к идентификации заместителей в β-пирролах большую ценность представляют спектральные данные для дипиридинферрогемохрома (пиридингемохромогена). Данные табл. 1 применимы к соединениям, имеющим ту же систему сопряженных связей в макроцикле, что и в протогеме. Один электрофильный заместитель смещает максимум поглощения α-полосы гемохрома в красную область; введение второй или третьей сильной электрофильной группы вызывает меньший эффект, чем первый заместитель. Электрофильные заместители в противоположно расположенных пирролах (но не в прилегающих) имеют тенденцию нивелировать β-полосу. Пиридин (20–30%, об./об.) используют в качестве стандартного основания; для полного разрушения связей Fe-белка в гемопротеинах может потребоваться щелочная обработка (0,01–0,1 M NaOH), однако присутствие щелочи может быть причиной смещения или появления новых полос; для формилгемов [Nature, Lond. **193**, 373 (1962)], гемов с щелочелабильными боковыми цепями (например, пероксидаза молока [BBA **71**, 157 (1963)]), гемов, замещенных неэтерифицированными карбоксильными группами, сопряженными с порфирином [Nature, Lond. **192**, 750 (1961)], обычным восстановителем служит $Na_2S_2O_4$.

Обзор новых методов выделения и определения структуры гемов см. [Meth. Enzymol. **52**, 421 (1978)].

Г. Хлорофиллы и родственные пигменты

Номенклатура. Хлорофилловые пигменты – магниевые комплексы различных тетрапирролов (см. формулы). Их можно рассматривать как производные протопорфирина – порфирина с двумя карбоксильными заместителями (свободными или этерифицированными). Так, хлорофилл *a* имеет карбоксиметильную группу при C_{10}, фитоловый эфир пропионовой кислоты – при C_7. Удаление магния, легко достигаемое мягкой кислотной обработкой, дает продукт, известный как феофитин. Гидролиз фитоловой эфирной связи хлорофилла приводит к образованию хлорофиллида (хлорофиллид, лишенный атома металла, известен как феофорбид).

Все эти соединения интенсивно окрашены и сильно флуоресцируют, исключая те случаи, когда они растворены в органических растворителях в строго безводных условиях. Они имеют характерные спектры поглощения, пригодные для качественного и количественного определения пигментов. Для этой же цели часто используются также данные о растворимости этих соединений в HCl, в частности для определения наличия или отсутствия этерифицированных спиртов. Хлороводородное число определяется как концентрация HCl (%, масс./об.), при которой из равного объема эфирного раствора пигмента экстрагируется $^2/_3$ общего количества пигмента. «Фазовый» тест – окрашивание зоны раздела фаз – проводят, подслаивая под эфирный раствор хлорофилла равный объем 30%-ного раствора KOH в MeOH. В интерфазе должно образоваться окрашенное кольцо [*Smith–Benitez*, p. 192]. С помощью тонкослойной хроматографии (например [Planta **58**, 564 (1962)]) можно быстро определять хлорофиллы в сырых экстрактах. См. также [*Holden*, in: Plant Pigments].

Хлорофиллы неустойчивы на свету; они могут окисляться до алломерных хлорофиллов на воздухе в метанольном или этанольном растворе.

Хлорофиллы образуют комплексы с белками in vivo и могут быть выделены в таком виде

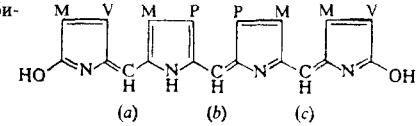
[Rev. Photochem. Photobiol. **29**, 203 (1979)]. В составе комплексов их спектры поглощения значительно отличаются от спектров свободных хлорофиллов в органических растворителях.

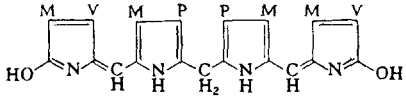
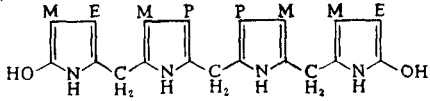
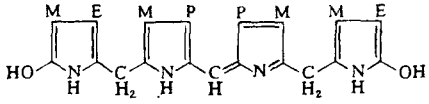
Хлорофиллы можно получить в виде кристаллов. Добавление H_2O или Ca^{2+} к органическому растворителю способствует кристаллизации.

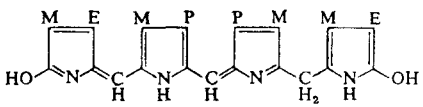
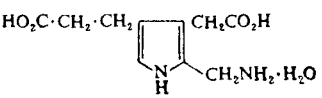
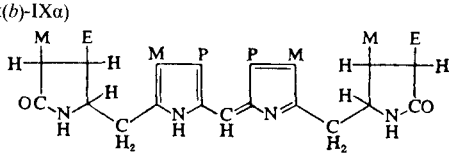
Литература.

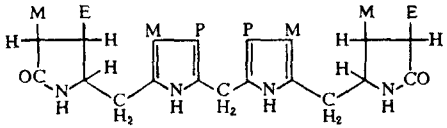
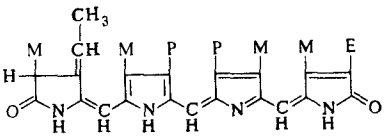
Fischer H., Stern A., Die Chemie des Pyrrols, vol. 2, pt. ii, Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H., Leipzig, 1940 (*Fischer–Stern*).
Smith J. H. C., Benitez A. Modern methods of plant analysis, K. Paech, M. V. Tracey (eds.), vol. 4, p. 142, Springer-Verlag, Berlin, 1955 (*Smith–Benitez*).
French C. S., Handb. PflPhysiol. **5**, 252 (1960).
Strain H. H., Chloroplast pigments and chromatographic analysis, Pennsylvania State University, 1958.
Vernon L. P., Seely G. R. The chlorophylls, Academic Press, New York, London, 1966 (*Vernon–Seely*).
Chemistry and Biochemistry of plant pigments, T. W. Goodwin (ed.), 2nd edn., Academic Press, London, 1976.

А. Желчные пигменты и родственные соединения

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Биливердин (дегидробилирубин; билатриен-IXα)	 (*a*) (*b*) (*c*) *M* 582,7	Спектр: в MeOH λ_{max} (и ε) 392 (25) и 640 (10,4). Сине-зеленые иглы (MeOH). При нагрев. чернеет. Раств-сть: х. р. щел., гор. лед. укс. кисл., гор. MeOH; м. р. $CHCl_3$, эф. (экстр. из эф. в 2%-ную HCl). Содержится в желчи птиц, амфибий, плаценте собак (утеровердин), яичной скорлупе (ооциан), меконии ребенка при патологиях, тканях и жидкостях. Р-ция Гмелина положительная; р-ции Ван-ден-Берга и Эрлиха отрицательные. С ацетатом Zn + I_2 дает зеленоголубое окрашивание (λ_{max} 637 им) с интенсивной красной флуоресценцией. Получ. см. [JCS **1961**, 2264]. Опр. см. [BJ **35**, 363 (1941)].
Биливердин солянокислый	*M* 619,1	Спектр: в MeOH λ_{max} (и ε) 377 (48) и 680 (28); 5%-ной HCl λ_{max} (и ε) 372 (47) и 665–670 (23,5). Зелен. крист. Раств-сть: р. гор. MeOH, лед. укс. кисл.; м. р. разб. HCl. Диметиловый эфир: $t_{пл}$ 216 ÷ 233; получ. см. [Bull. Soc. Chim. Biol. **27**, 621 (1945)]. Мезобиливердин: этильная гр. вместо винильной; встречается в качестве простетических гр. сине-зеленых хромопротеинов наружного покрова насекомых и гемолимфы; в свободном виде в организмах некоторых позвоночных. Получ. см. [BJ **45**, 199 (1945)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Билирубин (биладиен(*a,c*)-IXα)	 (M, V, R *см.* Биливердин) *M* 584,7	Спектр: в $CHCl_3$ λ_{max} 450 (ε 56 ÷ 61), в сыворотке λ_{max} 460 (ε 42 ÷ 57). Крист. от желт. до красно-коричн. цвета. При нагрев. чернеет. Раств-сть: р. щел., гор. $CHCl_3$; м. р. лед. укс. кисл.; о. п. р. EtOH, эф.; н. р. H_2O, кисл. Содержится в желчи, желчных камнях (Са-соль); в желчи гл. обр. в виде диглюкуронида; при патологиях в тканях, сыворотке, моче при желтухе. Р-пии Ван-ден-Берга и Гмелина положительные. С ацетатом $Zn+I_2$ – как биливердин. Прямые и косвенные методы анализа см. [Clin. Chim. Acta **8**, 149 (1978)]. Конъюгированный и свободный билирубин разделяются ВЭЖХ. [J. Liq. Chromat. **2**, 37 (1979)]. Получ. см. [JBC **202**, 305 (1953)]. Сухое тв. в-во уст.; р. в $CHCl_3$; уст. в темн., щел. раств. быстро окисл. Диметиловый эфир: $t_{пл}$ 198 ÷ 200. Мезобилирубин: этильная гр. вместо винильной. Получ. см. [ZPC **268**, 225 (1941)].
Мезобилан-IXα (уробилиноген, мезобилирубиноген)	 (M, P *см.* Биливердин; E = C_2H_5) *M* 592,7	Бесцветный (не поглощает). $t_{пл}$ 197 ÷ 203. Раств-сть: х. р. щел., NH_4OH; р. эф., бенз., Et-ацетат; м. р. H_2O, петр. эф. Составляет меньшую часть «стеркобилиногена» и «уробилиногена» фекалий и патологической мочи. Неуст.; крист. темнеют даже в отсутствие O_2 и света. В раств. окисл. на возд. до мезобилина(*b*)-IXα. Альдегидная р-ция Эрлиха положительная, р-ции Ван-ден-Берга и Гмелина отрицательные. С $FeCl_3$ окисл. до мезобиливердина. Получ. см. [*Fischer–Orth*, 692].
Мезобилин(*b*)-IXα (уробилин, уробилин-IXα)	 *M* 590,7	Спектр: в диоксане λ_{max} (и ε) 330 (3,6) и 452 (26). Оранж.-красные крист. $t_{пл}$ 190; синт. 177 (темнеет 158, спекается 171). Раств-сть: х. р. MeOH, EtOH, лед. укс. кисл., щел.; р. $CHCl_3$, ац.; м. р. эф. (экстрагируется из эф. разб. укс. кисл.). Меньшая часть «стеркобилина» и «уробилина» фекалий и патологической мочи. Неуст., легко дегидрируется до мезобилиолина и мезобиливердина, напр. при обработке $FeCl_3$. Крист. удерживают $CHCl_3$ (соединение?). Легко соединяется с Zn, Cu. Zn-Комплекс с ацетатом Zn в EtOH: сильн. зеленая флуоресценция (F_{max} 509 нм); пентдиопентовая р-ция положительная. Оптически неактивен. Синт. см. [ZPC **242**, 101 (1936)]. Получ. см. [*Fischer–Orth*, 685].

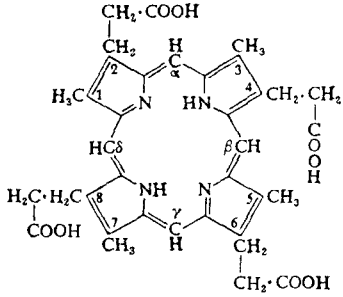
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Мезобилин(*b*)-IXα солянокислый	*M* 627,2	Спектр: в диоксане λ_{max} (и ε) 380 (6,6) и 494 (45); в EtOH λ_{max} (и ε) 232 (17), 378 (7,2) и 490 (50); в MeOH–HCl (обр. спектр) λ_{max} 494 ÷ 495. $t_{пл}$ 191 ÷ 200 ($CHCl_3$). $t_{пл}$ нерезко выражена (удерживает $CHCl_3$). Раств-сть: х. р. MeOH, EtOH, лед. укс. кисл; р. $CHCl_3$; м. р. укс. кисл., бенз., H_2O.
Мезобиливиолин (мезобиладиен(2′*a*, 5′*b*))	 *M* 588,7	Спектр: в $CHCl_3$ λ_{max} 570. Аморф. в-во. Раств-сть: х. р. спирты, $CHCl_3$; лед. укс. кисл., щел.; р. эф. (экстрагируется из эф. в 0,1 М HCl), кисл.; н. р. H_2O, разб. укс. кисл. *См.* Фикоцианобилин. Неуст. Характерный Zn-содержащий комплекс в EtOH, сильная красная флуоресценция (F_{max} 625 (575) нм). Получ. см. [Biochemistry **2**, 375 (1963)].
Порфобилиноген	 *M* 226,2 Гидрат: *M* 244,2	Бесцв. крист. Темнеют при 120 ÷ 130. $t_{разл}$ 170 ÷ 180. Раств-сть: р. разб. щел., NH_4OH, пир.; почти н. р. H_2O, обычные орг. раств-ли. Нежелчный пигмент. Промежуточное соединение в биосинтезе порфирина. Найден в моче больных острой порфирией. Водн. раств. неуст., образует порфобилин на свету, уропорфирин при кипячении. p*K′* 3,70; 4,95; 10,1. Гидрохлорид моногидрата: иглы из 2 М HCl; $t_{пл}$ 165 ÷ 170 (разл.). Красное окрашивание с альдегидным реагентом Эрлиха. Hg соль: н. р. Лактам: $t_{пл}$ 281 ÷ 284; получ. см. [BJ **57**, 476 (1954)]; опр. см. [JBC **219**, 435 (1956)].
Стеркобилин (*l*-уробилин; тетрагидромезобилин(*b*)-IXα)	 (M, P, E *см.* Мезобилан-IXα) *M* 594,8	Спектр: в диоксане λ_{max} (и ε) 332 (4,0) и 456 (34); в EtOH варьирует с pH, при pH 4,48 λ_{max} 490 (ε 74). Желт. крист. $t_{пл}$ 236. Раств-сть: х. р. EtOH, MeOH, лед. укс. кисл., щел., NH_4OH, пир.; р. $CHCl_3$, ац.; м. р. H_2O, разб. кисл., эф.; н. р. петр. эф. Составляет большую часть «стеркобилина» и «уробилина» фекалий и патологической мочи. Уст. Узкие призмы из $CHCl_3$. $t_{пл}$ 234 ÷ 236. $[\alpha]^{20}_{6560}$ −824 (в лед. укс. кисл.). Zn-комплекс: в EtOH дает сильную зеленую флуоресценцию (F_{max} 507 нм). Р-ции Гмелина, Ван-ден-Берга, пентдиопентовая и с $FeCl_3$ отрицательные. Получ. см. [JBC **114**, 47 (1936); Chem. Ind. **1955**, 652]; опр. см. [J. Lab. Clin. Med. **54**, 1 (1959)].

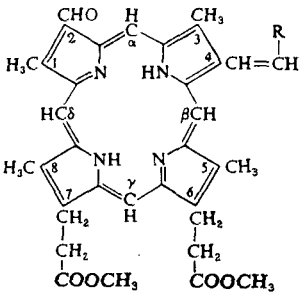
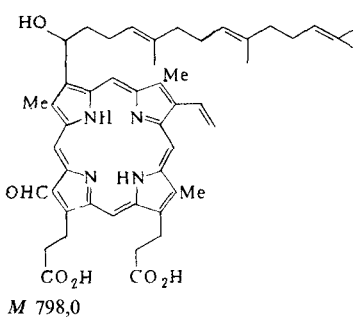
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Стеркобилин солянокислый	*M* 631,2	Спектр: в диоксане λ_{max} (и ε) 228 (16,2), 350 (8,1) и 490 (69); в EtOH λ_{max} (и ε) 228 (16,2), 372 (8,5) и 488 (55); в $CHCl_3$ λ_{max} 493 (ε 71); в MeOH–HCl (обр. спектр). λ_{max} 492. Желт. призмы ($CHCl_3$). $t_{пл}$ 120 ÷ 165 (нерезко выражена, разл.). Раств-сть: х. р. EtOH; р. $CHCl_3$, ац.; м. р. Et-ацетат, разб. HCl; н. р. эф., петр. эф.
Стеркобилиноген (*l*-уробилиноген; тетрагидромезобилан-IXα)	 *M* 596,8	Бесцв. аморф. в-во. Раств-сть: р. спирты, щел., NH_4OH, $CHCl_3$; м. р. эф.; н. р. H_2O. Составляет большую часть «стеркобилиногена» и «уробилиногена» фекалий и патологической мочи. Легко окисл. до стеркобилина. Получ. см. [ZPC **238**, 59 (1936)].
Фикоцианобилин	 *M* 586,7	Спектр: в смеси 5%-ный пир.–$CHCl_3$ λ_{max} 590 и 367; в $CHCl_3$–HCl λ_{max} 662 и 375; в 5%-ной HCl–MeOH λ_{max} 690 и 374. Раств-сть: р. H_2O, полярные орг. раств-ли. Представляет собой хроморфорную группу *алло*-фикоцианина, C- и R-фикоцианинов сине-зеленых водорослей и сопутствующих пигментов красных водорослей; присутствует также в криптофитах. Хромофорная гр. фитохрома высших растений имеет сходную структуру. Получ. см. [Am. J. Bot. **55**, 314 (1968); BJ **105**, 903 (1967); Phytochemistry **5**, 993 (1966)]. Пигмеит превращается в мезобиливиолин или биливердин на некоторых стадиях выделения. Фикоэритробилин – структурный изомер, ковалентно связанный с белком C- и R-фикоэритрина. Получ. см. [Biochem. Soc. Symp. **28**, 110 (1968); J. Biochem. **51**, 89 (1962); JACS **89**, 5976 (1967); BJ **80**, 25P (1961)]. Синт. см. [JACS **100**, 5928 (1962)].

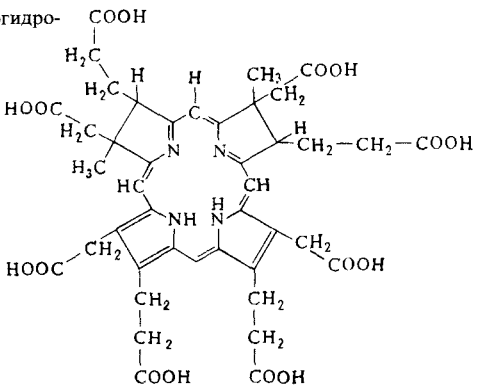
Б. Порфирины

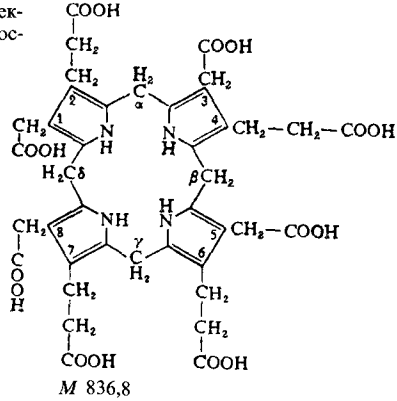
Хлорофиллпорфирины не включены

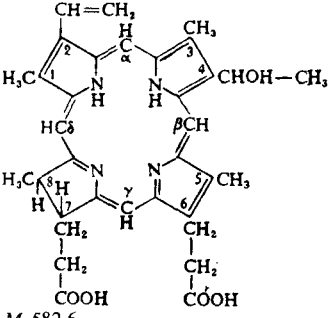
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Дейтеропорфирин 9 (копратопорфирин Шумма)	1,3,5,8-Тетраметил-6,7-ди(2′-карбокси)этилпорфин *M* 510,6	Спектр: в эф. λ_{max} 621,5, 567, 526 и 494; в пир. λ_{max} 621, 566, 530 и 497; в 25%-ной HCl λ_{max} 591, 548 и 404; в 0,1 М HCl λ_{max} (и ε) 588 (5,34),

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		548 (13,7) и 398 (433). Тип А. Крист. (пир.–лед. укс. кисл.). Содержится в фекалиях, разлагающейся крови, гниющем мясе. HCl-число 0,3. Эфир–0,45%-ная HCl K 0,36. Na-соль: н. р. H_2O. Дигидрохлорид: р. $CHCl_3$; экстрагируется $CHCl_3$ из 0,2% HCl. Cu-комплекс: иглы из $CHCl_3$–укс. кисл. $t_{пл}$ 335. Ключевое соединение при определении структуры и получении модельных соединений, представляющих биохимический интерес. Получ. см. [JBC **202**, 781 (1953); JACS **74**, 6276 (1952)]. Опр. см. [JBC **208**, 537 (1954); BJ **49**, 157 (1951)].
Копропорфирин I (копро I)	 1,3,5,7-Тетраметил-2,4,6,8-тетра-(2′-карбокси)этилпорфин M 654,7	Спектр: в эф. λ_{max} 623,5, 567,5, 528, 495 и 398; в 25%-ной HCl λ_{max} (и ε) 593 (5,5), 550 (16,2) и 406; в 1 М HCl λ_{max} (и ε) 591 (6,1), 548 (17,5) и 401 (470); в 0,1 М HCl λ_{max} 399,5 (ε 489). Тип А. Призмы (из пир.–лед. укс. кисл.). В след. кол-вах содержится в нормальной сыворотке (особ. зародышей), амниотической жидк., меконии. Организм взрослого человека в норме экскретирует 40–160 мкг/сут. Экскреция с мочой повышается при патологии. Содержится в иглах ежа, раковинах моллюска *Pinctada vulgaris*, микроорганизмах, дрожжах, растениях. HCl-число 0,09, Et-ацетат-HCl-число 0,35. Не экстрагируется $CHCl_3$ из разб. HCl. Коллоидный раств. в H_2O. Zn-комплекс: λ_{max} 575, 539, 408 нм. Cu-комплекс λ_{max} 561, 524, 400 нм. Na, K соли: р. H_2O и сильн. щел. Дигидрохлорид: фиол.-красные бипирамидальные крист.; коллоидный раств. в H_2O, эфире, $CHCl_3$. Наилучший источник: меконий. Легко получ. декарбоксилированием уропорфирина I. Получ. см. [JBC **227**, 505 (1957)]. Опр. см. [Meth. Biochem. Anal. **8**, 221 (1960)].
Копропорфирин III (копро III)	1,3,5,8-Тетраметил-2,4,6,7-тетра-(2′-карбокси)этилпорфин M 654,7	Спектры: в эф., 0,1 и 1 М HCl идентичны спектрам копропорфина I. Крист. с трудом; глобулярные агрегаты. В след. кол-вах содержится в нормальных эритроцитах и моче (организм взрослого человека в норме экскретирует 20–80 мкг/сут). Возрастает при порфириях и состояниях токсикоза (сульфонамиды). Содержится в перьях совы, корневых клубеньках бобовых и др. растений, дрожжах и бактериях, особ. при дефиците

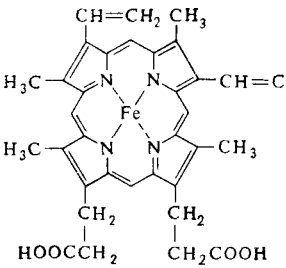
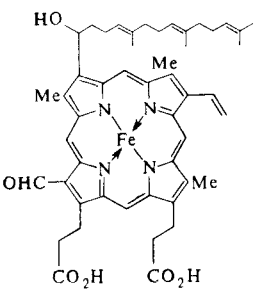
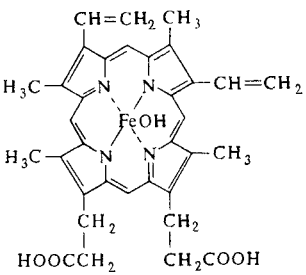
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		Fe. Получ. см. [Biochem. Prep. **7**, 36 (1960); JCS 1958, 1430]. Опр. и спектры катионов см. [Clin. Chim. Acta **89**, 25 (1978)]. HCl-число 0,09. Na, K соли: р. H_2O, сильн. щел. Дигидрохлорид: красные призмы; х. р. H_2O; Et-ацетат-HCl-число 3,5. Дифференцируется от копро I тонкослойной хроматографией [J. Chromat. **10**, 236 (1963)]. pK_3 7,2 (20°C); pK_2 4,2 (20°C).
Криптопорфирин *a*, диметиловый эфир	 ($R = C_{12}H_{25}$ до $C_{15}H_{31}$) *M* 761 ÷ 793	Спектры: в $CHCl_3$ λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 642,5, 584 (31), 559 (127), 519 (194) и 416 (148); в 10%-ной HCl λ_{max} 613,5 и 563,5; пиридингемохром λ_{max} 582 и 533. Тип R. Призмы. $t_{пл}$ 254 ÷ 257. Листочки. $t_{пл}$ 259 ÷ 260. Пластинки (пентаг.). $t_{пл}$ 256 ÷ 260. Содержится в сердечной мышце быка, печени; грудной мышце голубя. В дрожжах и бактериях (*S. Lutea*) в виде гемина [BBA **54**, 573 (1961)]. Найден в сырых препаратах порфирина *a* в виде свободного порфирина. HCl-число 4,0. В виде гемина содержится в препаратах из сердечной мышцы быка [JBC **233**, 743 (1958)]. *M* вычисляется из удельной экстинкции.
Порфирин *a* (цитопорфирин)	 *M* 798,0	Спектры: в эф. λ_{max} (и ε) 647 (1,3), 582 (10,9), 558 (21), 518 (8,86) и 414 (160) – тип OR; в $CHCl_3$ λ_{max} 646, 584,5, 563,5, 520 и 418,5 – тип OR; в 5%-ной HCl λ_{max} 614,8 и 559,1; в 25%-ной HCl λ_{max} 619,0 и 564,2; спектр диметилового эфира в эфире λ_{max} (и $A_{отн}$) 647, 584 (2,28:1), 560, 577 и 412, $t_{пл}$ диметилового эфира 128 ÷ 130. Является основой гема, служит простетической гр. цитохромоксидазы (цитохром $a+a_3$) и цитохрома a_1 (бактерии, напр. *E. coli*). Природный порфирин *a* (α-форма): HCl-число 15. Переход в спектрально идентичный порфирин *aβ* (HCl-число 5) происходит при выдерживании порфирина *aα* в водн. HCl или подкисл. орг. раств-лях. При удалении Fe из гемина могут образовываться продукты превращения последнего. Чрезвычайно фоточувствителен. Cu-Комплекс: λ_{max} 598, 550 нм. В преп. в равном кол-ве содержится второй, более полярный компонент неизвестной структуры. Получ. см. [BJ **78**, 793 (1961)].

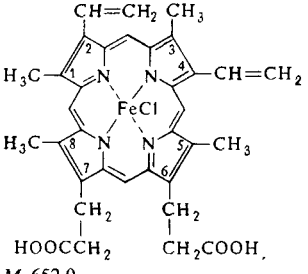
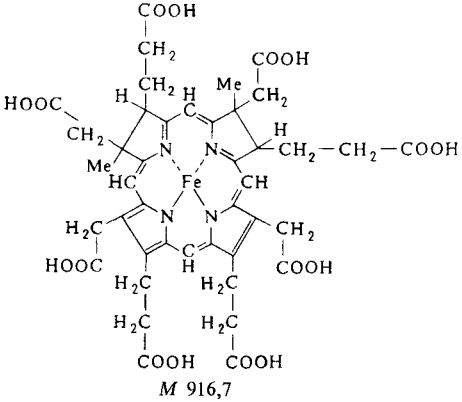
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Протопорфирин 9 (гематопорфироидин Шумма; порфирин Каммерера; порфирин Снаппера; оопорфирин)	1,3,5,8-Тетраметил-2,4-дивинил-6,7-ди(2′-карбокси)этилпорфин *M* 562,7	Спектр: в эф. λ_{max} 633, 576, 538 и 503 – тип А; в диоксане λ_{max} (и ε) 631 (5,2), 576 (6,5), 538 (10,8) и 504 (14,8) – тип А; в 25%-ной HCl λ_{max} (и ε) 602 (5,9), 557 (16,4) и 411 (278); в 2,7 М HCl λ_{max} (и ε) 598 (5,75), 554 (13,5) и 408 (262). Крист. из MeOH–KOH, пир., эф. Содержится в виде протогема (*см.*) в гардеровых железах крыс, яичной скорлупе, незрелых эритроцитах, мутантных бактериях и дрожжах, лишенных железа. Встречается в виде монометилового эфира в водорослях, дрожжах и фотосинтезирующих бактериях. HCl-число 2,5. Неуст. в раств., особ. на свету. Na-соль: м. р. H_2O, осаждается из сильн. щел. Твин 80 способствует растворению в H_2O. К-соль можно закристаллизовать. Дигидрохлорид: р. $CHCl_3$. Легко гидратируется в разб. HCl. Получ. см. [BJ **63**, 87 (1956)]. Опр. см. [Clin. chim. acta **89**, 25 (1978)].
Сирохлорин (сирогидрохлорин)	 *M* 862,8	Спектр: в MeOH, подкисленном H_2SO_4 λ_{max} (и $A_{отн}$) 618 (1), 575 (0,52), 523 (0,45), 492 (0,45), 403 (3,6), 383 (3,2) и 373 (3,2); в $CHCl_3$ λ_{max} 638, 588, 545, 510, 480, 378 и 362. Спектры производных: Cu λ_{max} (и ε) 585 (2), 545 и 397; Zn λ_{max} (и ε) 605 (3), 560 и 408. Содержится в виде гема – простетической гр. SO_3^{2-}- и NO_2^--редуктаз шпината, *E. coli*, серных бактерий. В виде свободного изобактериохлорина в *Propionibacterium shermanii*; предшественник витамина B_{12}. Получ. см. [Tetrah. Lett. 2217 (1977); JBC **248**, 6911 (1973)]. По хроматографич. и электрофоретич. свойствам напоминает уропорфирин. Флуоресценция: в 2 М HCl; F_{max} 628 (660 пл.). В пиперидине F_{max} 596, 639 ($\varphi_{596} > \varphi_{639}$); в $CHCl_3$ F_{max} 597, 640 ($\varphi_{597} > \varphi_{640}$).
Уропорфирин I (уринпорфирин; уро I)	1,3,5,7-Тетракарбоксиметил-2,4,6,8-тетра(2′-карбокси)этилпорфин *M* 830,7	Спектр: в 25%-ной HCl λ_{max} 597, 554 и 410; в 0,5 М HCl λ_{max} (и ε) 594 (6,52), 552 (18,3) и 405 (541). Иглы (пир.–лед. укс. кисл.). В след. кол-вах содержится в нормальной моче (при патологиях, особ. при врожденной порфирии, экскреция увел.), а также в раковинах моллюсков. Легко дает копропорфирин I в результате частичного декарбоксилирования. Et-ацетат-HCl-число 0,1. Раств-сть: н. р. эф. Получ. см. [JBC **233**, 501 (1958); BJ **57**, 476 (1954); **50**, 202 (1952)]. Опр.

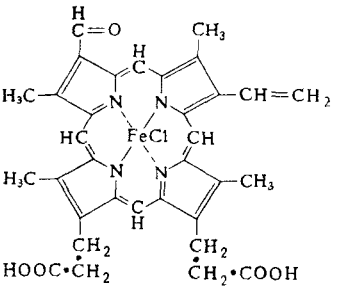
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		см. [J. Chromat. **10**, 141 (1963); BJ **75**, 620 (1960); Br. J. Ind. Med. **35**, 61 (1978); S. afr. J. lab. clin. med. **45**, 221 (1971); Z. anal. chem. **252**, 104 (1970); BJ **55**, 105, 109, 867 (1953); Clin. Chem. Acta **7**, 301 (1962)].
Уропорфирин III (уро III)	1,3,5,8-Тетракарбоксиметил-2,4,6.7-тетра(2′-карбокси)этил-порфин *M* 830,7	Спектр: в 0,5 М HCl качественно и количественно идентичны уро I (*см.*). В след. кол-вах содержится в нормальной моче, при патологиях (особ. при острой порфирии) и экспериментальной порфирии (напр., индуцированной седормидом) экскреция увел. В виде Cu-комплекса (турацин) содержится в перьях Turacos [BJ **50**, 194 (1951)]. Et-ацетат-HCl-число 9,4. Легко дает копропорфирин III в результате частичного декарбоксилирования. Электрофорез на бумаге – важный метод получения этого и др. поликарбоксипорфиринов [Clinica Chim. Acta **7**, 301 (1962)]. Cu-Комплекс (гурацин): тонкие иглы; р. разб. щел.; н. р. эф., $CHCl_3$, EtOH, лед. укс. кисл.; λ_{max} 562,5, 526 нм в (щел.) и 583, 542 нм (в кисл.). Получ. [JBC 227, 505 (1957); BJ **55**, 109, 867 (1953)]. Спектры катионов и опр. см. [Clin. Chim. **25**, 71 (1979)].
Уропорфириноген III (гексагидроуропорфирин, уроспектрин, уроген III)	 *M* 836,8	Спектр: в H_2O λ_{max} 202 (ε 50). Содержится в моче, особ. при патологиях [J. Lab. Clin. Med. **37**, 831 (1951); Aust. J. exp. Biol. med. Sci. **31**, 457 (1953)]. Промежуточное соединение при биосинтезе порфирина. Легко окисл. иодом до уропорфирина, тетрагидро (λ_{max} 500 нм) и дигидро (λ_{max} 737, 440 нм) уропорфирина в качестве промежуточных соединений. Фотокаталитически аутоокисл. Др. порфириногены см. [JBC **236**, 1173 (1961); *Falk*, p. 8]. Получ. см. [JBC **232**, 1141 (1958)]. Опр. см. [Nature **181**, 1592 (1958)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Хардеропорфирин	2-Винил-1,3,5,8-тетраметил-4,6,7-три(2′-карбокси)этилпорфин *M* 608,7	Спектр триметилового эфира: в CH_2Cl_2 λ_{max} (и ε) 630 (5,37), 574 (10,2), 540 (13,0), 507 (17,4) и 405 (178) – тип А. Найден в гардеровых железах крыс; предшественник протопорфирина 9. Получ. см. [FEBS Lett. **6**, 9 (1970); **7**, 205 (1970); *Smith*, p. 52]. ВЭЖХ см. [JCS, Perkin **7**, 1188 (1974)].
Хлорин a_2	 *M* 582,6	Спектр: в эф. λ_{max} (и $A_{отн}$) 653 (3,3), 598 (0,3) 573, 534, 503 (1) и 405 (12); в 10%-ной HCl λ_{max} 630, 536 и 405; в 20%-ной HCl λ_{max} 647, 530 (диффузный) и 412. В виде геминовой простетической гр. цитохрома a_2 содержится в бактериях (*A. aerogenes, E. coli*). Структура окончательно не установлена. HCl-число 10. Превращение в порфирин может происходить при удалении Fe из феррохлориа. Феррохлорин лучше всего определять в виде хлороферрохлорина (гемина): λ_{max} 603–604 нм; пиридингемохром (λ_{max} 613 ÷ 614 нм) чрезвычайно иеуст.; получ. в виде ассоциата с липидом. Получ. см. [BJ **64**, 626 (1956)].
Хлорокруоропорфирин (порфирин *Spirographis*)	1,3,5,8-Тетраметил-2-формил-4-винил-6,7-ди(2′-карбокси)этилпорфин *M* 564,6	Спектр: в эф. λ_{max} (и ε) 642 (592,5) 583, 555 и 514,5 – тип R; в диоксане λ_{max} (и ε) 639 (2,3), 581 (7,9), 553 (12,4) и 514 (10,3) – тип R; в 4%-ной HCl λ_{max} 614, 565 и 418; в 20%-ной HCl λ_{max} 616, 565 и 421. Тонкие иглы-призмы (эф.). HCl-число 4,6. Твин 80 солюбилизирует хлорокруоропорфирин в водн. буферных раств. Содержится в виде хлорокруорогема – простетической группы хлорокруорина *Spirographis sabella*. Получ. см. [ZPC **242**, 139 (1936)].

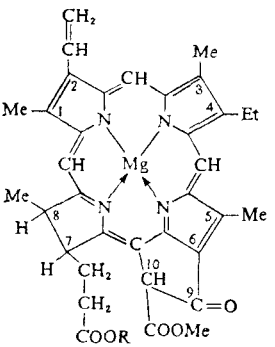
B. Железопорфирины (гемы, геминны)

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Гем (ферропротогем IX; протогем; ферропротопорфирин; восстановленный гематин)	 *M* 616,5	Спектр: при pH 7–12 (боратный или фосфатный буфер) λ_{max} (и ε) 570 ÷ 580 (5,5 ÷ 6,5). Раств-сть: н. р. H_2O, разб. кисл.; м. р. разб. щел.; р. EtOH – эф. Представляет собой простетические группы деоксигенированных гемоглобинов позвоночных, эритрокруоринов, миоглобинов, восстановленных цитохромов *b*, ? цитохром-*c* – пероксидазы, ? триптофанпирролазы. Быстро аутоокисл. Fe удаляется под действием HCl (см., напр., [Aust. J. exp. Biol. med. Sci. **34**, 211 (1956)]. В раств. существует в виде димера. Лигандами по координационным положениям 5 и 6 являются молекулы H_2O Получ. см. [Experientia **28**, 1396 (1972)]. Легко образует феррогемохромины с основаниями. Пиридингемохром λ_{max} (0,2 М NaOH – 25%-ный пир.) 557, 525 нм (ε мМ Fe 31–35, 16–17,5). [JBC **140**, 373 (1941); Acta chim. scand. **7**, 1284 (1953)].
Гем *a* (цитогем)	 *M* 851,8	Спектр: в Fe^{2+}-гем, pH 7,5 λ_{max} (и ε) 598 (9,7) и 410 (69); в пир.–0,1 М NaOH λ_{max} (и ε) 587 (30) и 430 (117); в Fe^{2+} – CO pH 7,5 λ_{max} (и ε) 607 (18,9) и 428 (79); в Fe^{2+} – CN +0,1 М NaOH λ_{max} (и ε) 598 (23,0), 534 (10,9) и 446 (10,1); в Fe^{3+} – CN +0,1 М NaOH λ_{max} (и ε) 635 (9,0) и 405 (60); в Fe^{3+} + pH 7,5 λ_{max} (и ε) 635 (79) и 400 (67). Раств-сть: р. эф., $CHCl_3$, ац.; н. р. H_2O, разб. кисл. Представляет собой простетическую группу цитохромоксидаз $a+a_3$, a_1, *a*. Образует основания Шиффа с денатурированным белком, λ_{max} при этом смещается в фиолетовую область. Получ. см. [BJ **78**, 793 (1961); JBC **250**, 7602 (1975)]. Образует комплексы с —OH, O_2, H_2O_2, пир., CO, —CN.
Гематин (феррипротогем IX; гидроксиферрипротопорфирин; щелочной гематин)	 *M* 633,5	Спектры: в боратном буфере, pH 10,0 λ_{max} (и ε) 600 (4,5); в 0,1 М водн. NaOH λ_{max} (и ε) 610 (4,6) и 385 (58,44); в $5 \cdot 10^{-4}$ М водн. NaOH λ_{max} (и ε) 385 (49); в $5 \cdot 10^{-4}$ М NaOH в 99%-ном EtOH λ_{max} (и ε) 403 (80). Раств-сть: н. р. H_2O, разб. кисл. EtOH, эф., $CHCl_3$, ац.; м. р. лед. укс. кисл.; р. разб. щел. Гидроксипроизводное простетической гр. метгемоглобинов, метэритрокруорина, метмиоглобина, растительных пероксидаз, каталаз, цитохромов *b*, метгемаль-

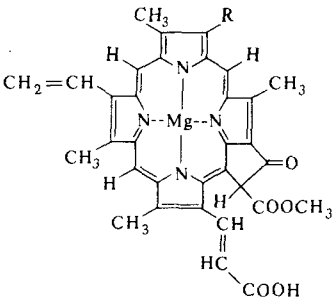
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		бумина. Содержится в моче при патологиях, в эритроцитах при малярии. Под действием $Na_2S_2O_4$ восстаиавливается до гема. Лиганды по координационным положениям 5 и 6 – это H_2O и OH; оба вытесняются основаниями с образованием ферригемохромов.
Гемин (протогемин IX; хлорогемин; хлороферрипротопорфирин)	 *M* 652,0	Спектр: в эф.-укс. кисл. [BBA **71**, 165 (1963)] λ_{max} 638, 540, 512, 407 и 381; в лед. укс. кисл.–75%-ный EtOH λ_{max} 635, 510 и 400 (ε 90). Раств-сть: н. р. H_2O, разб. кисл., р. разб. щел., NH_4OH; р. орг. основаниях; м. р. лед. укс. кисл. 70–80%-ный EtOH; н. р. EtOH, эф., ац., $CHCl_3$; р. водн. HCl–EtOH, водн. HCl–укс. кисл. Для удаления Fe необходима конц. H_2SO_4 (*ср.* Гем). Диметиловый эфир: р. лед. укс. кисл., $CHCl_3$; м. р. MeOH; λ_{max} в $CHCl_3$: 625, 565, 515 нм. Опр. см. [JBC **140**, 373, 387 (1941); Acta chem. Scand. **7**, 1284 (1953); J. gen. Microbiol. **15**, 404 (1956)]. Уст. форма. Получ. см. [JBC **228**, 123 (1957); BBA **76**, 437 (1957)]. Перекр. может привести к изменению винильных боковых цепей. Моно- и дигидроксиэтильные производные – побочные продукты при получ. и перекр.
Сирогем	 *M* 916,7	Спектры: в укс. кисл. + 0,015 M HCl λ_{max} (и $A_{отн}$) 594 (1) 547 (3,5) и 376; в пир. λ_{max} (и $A_{отн}$) 557 (1), 520 (2,7) и 401; в 0,1 M NaOH λ_{max} (и $A_{отн}$) 567 (1) и 385 (3,6); в 0,1 M NaOH + 1 мМ KCN λ_{max} (и $A_{отн}$) 580 (1) и 403 (3,2); в 0,1 M NaOH + 1 мМ KCN + $Na_2S_2O_4$ λ_{max} (и $A_{отн}$) 566 (1) и 408 (3,3); в 0,1 M NaOH + $Na_2S_2O_4$ λ_{max} (и $A_{отн}$) 603 (1), 564 (4,3) и 406. Раств-сть: р. пир., MeOH, EtOH, H_2O. Представляет собой простетическую гр. сульфит- и нитритредуктаз. Fe^{2+} удаляется при обработке HCl. Получ. см. [JBC **248**, 251 (1973); PNAS **71**, 612 (1974)]. Образует комплексы с —OH, CO, —CN, пир. См. обзор [Meth. Enzymol. **52**, 436 (1978)].

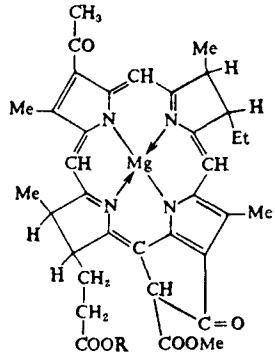
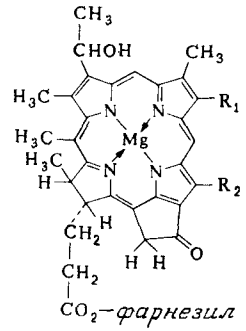
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Хлорокруорогемин (феррохлорокруоропорфирин; гем *Spirographis*)	 *M* 657,2	Спектр: в пир. λ_{max} (и $A_{отн}$) 573,5 (1), 547,5 (0,41) и 425,5 (5,4); в 20%-ный пир. +0,08 M NaOH λ_{max} (и $A_{отн}$) 580 (1) и 412,5 (5.4). Представляет собой простетическую группу хлорокруорина – переносчика O у некоторых многощетинковых червей (*Spirographis, Sabella, Branchiomma*). При pH > 10 с денатурированными белками образует основания Шиффа, при этом λ_{max} смещается в фиолетовую область.
Эритроцитный зеленый гем	Формилгем неопределенной структуры, содержащий одну или более гидроксильных групп и, возможно, 3 карбоксильные группы *M* не известна	Спектр: в пир.– Fe^{3+} λ_{max} 579, 538 и 432 – тип A; в укс. кисл. λ_{max} 549, 518 и 412; в $CHCl_3$ (спектр Me-эфира) λ_{max} 647, 590, 561, 518 и 423. Раств-сть: р. полярные раств-ли, H_2O. Представляет собой простетическую гр. зеленого гемопротеина эритроцитов человека. Гем диссоциирует при электрофорезе при pH 9,5. Обычные методы удаления Fe вызывают разл. Неуст. в кисл., уст. в щел. Получ. см. [JBC **251**, 3927 (1976)].

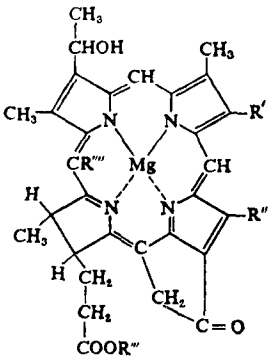
Г. Хлорофиллы и родственные пигменты

Соединение	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Хлорофилл *a* (и производные)	 R = $C_{20}H_{39}$ (фитил) Суммарная формула: $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ *M* 893,5	Спектр: в эф. λ_{max} (и ε) 662 (91,2), 615 (13,8), 578 (7,6), 533,5 (3,7), 430 (121) и 410 (76,1); в ац. λ_{max} (и ε) 663 (75,05), 615 (14,03), 580 (7,75), 535 (3,47), 430 (94,71) и 410 (68,9). Раств-сть: р. EtOH, ац., бенз., эф., $CHCl_3$; м. р. петр. эф.; н. р. H_2O. Содержится во всех фотосинтезирующих организмах, выделяющих O_2 при фотосинтезе, т. е. высших растениях, зеленых, красных и коричневых водорослях, диатомовых водорослях и т. д. Флуоресценция эф. раств: F_{max} 668 и 723 им. Фазовый тест: желт. → зеленый. Неуст., особ. на свету. Добавление H_2O в орг. раст-ль влияет на спектры. Обзор спектров см. [Spectrochim. Acta **21**, 1835 (1965)]. λ_{max} смещается на 4 ÷ 26 нм для образующихся in vivo комплексов с белками [Photochem. Photobiol. **26**, 319 (1977)]. Получ. см. [BBA **58**, 486 (1962); **75**, 306 (1963);

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		BBRC **83**, 501 (1978)]. В гор. H_2O происходит изомеризация *a* и *b*. Опр., разделение ВЭЖХ см. [J. Chromat. **152**, 247 (1978); **154**, 73 (1978); J. Agric. Food. Res. **263**, 67 (1978)]. Опр. см. [Planta **78**, 200 (1968); *Smith–Benitez*, p. 143; BBA **253**, 222 (1971)].
Феофитин *a*	*См.* Хлорофилл *a*, где нет Mg *M* 871,2	Спектр: в эф. λ_{max} (и ε) 667 (55,5), 609,5 (8,5), 560 (3,1), 534 (11,0), 505 (12,7), 471 (4,4) и 408,5 (115,8). Раств-сть: р. эф., ац., бенз., $CHCl_3$; м.р. EtOH, петр. эф.; н.р. H_2O. Распространенность, как для хлорофилла *a*, возможно, возникает в результате разл. хлорофилла *a*. Флуоресценция: эф. раств. F_{max} 672,5, 715 нм. Фазовый тест: положительный. HCl-число ~ 29. Неуст., особ. на свету. Получ. см. [Bot. Gaz. **102**, 463 (1941); BBA **58**, 486 (1962).] Опр. см. [Planta **29**, 114 (1938–1939)].
Хлорофиллид *a*	*См.* Хлорофилл *a*, где R = H *M* 614,9	Спектр, как у хлорофилла *a*. Раств-сть: р. Et-ацетат. Образуется в результате фотопревращения протохлорофиллида. Фазовый тест: положительный. Этилхлорофиллид *a* ($R = C_2H_5$) обычно содержится в EtOH-экстрактах листьев, что обусловлено действием хлорофиллазы: [Am. J. Bot. **41**, 710 (1954)]. Найден в проросших в темноте семенах [JBC **183**, 713 (1950)].
Протохлорофилл	*См.* Хлорофилл *a*, где связь между атомами C-7 и C-8 ненасыщенная Суммарная формула: $C_{55}H_{70}O_5N_4Mg$ *M* 891,5	Спектр: в эф. λ_{max} (и ε) 623 (35,6), 571 (13,3), 535 (6,4) и 432 (289,7). Раств-сть: р. EtOH, ац., бенз., эф.; н.р. петр. эф., H_2O. Обнаружен в развивавшихся в темноте листьях проростков. Аналогичный, но не идентичный пигмент найден во внутренних оболочках семян *Curcurbitaceae*.
Хлорофилл *b* (и производные)	*См.* Хлорофилл *a*, где CH_3 в положении 3 замещен на —CHO Суммарная формула: $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ *M* 907,5	Спектры: в эф. λ_{max} (и ε) 644 (51,5), 595 (9,89), 549 (5,62), 455 (155) и 430 (53,1); в ац. λ_{max} (и ε) 645 (47,0), 595 (10,3) и 455 (133,3). Раств-сть: р. EtOH, ац., бенз., эф.; м.р. MeOH; н.р. H_2O, петр. эф. Содержится во всех высших растениях и многих зеленых водорослях. Флуоресценция: эф. раств. F_{max} 646, 704; EtOH-раств. при −79 K F_{max} 658, 720 нм. Фазовый тест: красный → коричневый → → зеленый. Получ. см. [BBA **58**, 486 (1962); *Smith–Benitez*, p. 143]. Опр. см. [*Smith–Benitez*, p. 154; Photochem. Photobiol. **1**, 259 (1962)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Феофитин *b*	*См.* Феофитин *a*, где $—CH_3$ в положении 3 замещен на —CHO. Суммарная формула: $C_{55}H_{72}O_6N_4$ *M* 885,2	Спектр: в эф. λ_{max} (и ε) 655 (37,3), 599 (8,4), 555 (7,7), 525,5 (12,6), 434 (191) и 412,5 (73,5). Раств-сть: р. эф., ац., $CHCl_3$, бенз.; м.р. MeOH, петр. эф.; н.р. H_2O. Распространенность, как у хлорофилла *b*, возможно, это обусловлено разл. хлорофилла *b*. Получ. *см.* Хлорофилл *a*. HCl-число ~ 35.
Этилхлорофиллид *b*	*См.* Хлорофилл *a*, где $—CH_3$ в положении 3 замещен на —CHO. R = C_2H_5 Суммарная формула: $C_{37}H_{36}O_6N_4Mg$ *M* 657,0	Спектр, как у хлорофилла *b*. Раств-сть: м.р. эф., о.п.р. EtOH. Обычно содержится в спиртовых экстрактах тканей листьев, что обусловлено действием хлорофиллазы. Получ. см. [Am. J. Bot. **41**, 710 (1954)].
Хлорофилл c_1	 R = CH_2CH_3 *M* 610,9	Спектр: в ац. + 1%-ный пир. λ_{max} (и ε) 629,1 (39,2), 577,9 (28,6) и 446,1 (348,0); 90%-ный ац. + 1%-ный пир. λ_{max} (и ε) 630,6 (44,8), 579,4 (26,0) и 443,2 (318,0); в пир. λ_{max} (и ε) 639,6 (35,0), 593,2 (30,4) и 461,5 (346,0); в MeOH λ_{max} 663, 584 и 445; в эф. λ_{max} 626, 576 и 444. Крист. в виде зеленых пластинок. Выд. из *Sorgassum* [BBA **279**, 15 (1972); Fucus, Tetrahedron **27**, 1447 (1971)]. Флуоресценция: F_{max} при 20°C (ац.) 633 и 694 нм.
Феофорбид c_1 (феопорфирин c_1)	*См.* Хлорофилл c_1, где нет Mg. *M* 588,6	Спектр: в ац. λ_{max} (и $A_{отн}$) 648 (0,1), 590 (0,98), 574 (1,0) и 550 (0,64); в эф. (Me-эфир), λ_{max} (и $A_{отн}$) 666 (0,78), 590 (0,94), 570 (0,97), 525 (1) и 424 (7,6). Раств-сть: р. MeOH, CH_2Cl_2, пир. Получ. путем кисл. обработки хлорофилла c_1. Получ. см. [Tetrahedron **27**, 1447 (1971)]. Флуоресценция: F_{max} при 20°C (ац.) 717 и 652 нм ($\varphi_{717} > \varphi_{652}$).
Хлорофилл c_2 (и производные)	*См.* Хлорофилл c_1, где R = $—CH{=}CH_2$. *M* 608,9	Спектр: в смеси ац. + 1%-ный пир. λ_{max} (и ε) 629,6 (37,2), 581,3 (35,7) и 444,6 (321,0); в смеси 90%-ный ац. + 1%-ный пир. λ_{max} (и ε) 630,9 (40,4), 581,2 (30,7) и 443,8 (374,0); в пир. λ_{max} (и ε) 641,5 (31,8), 597,3 (42,0) и 466,0 (459,0). Раств-сть: р. MeOH, EtOH, Et-ацетат, пир. Обнаружен в коричневых водорослях, диатомовых водорослях, динофлагеллятах и *Vaucheria*. Опр. см. [Biochem. Physiol. Pflanzen **167**, 191 (1975)]. Флуоресценция F_{max} при 20°C (ац.) 635 и 696 нм; в EtOH F_{max} 638 и 700 нм.

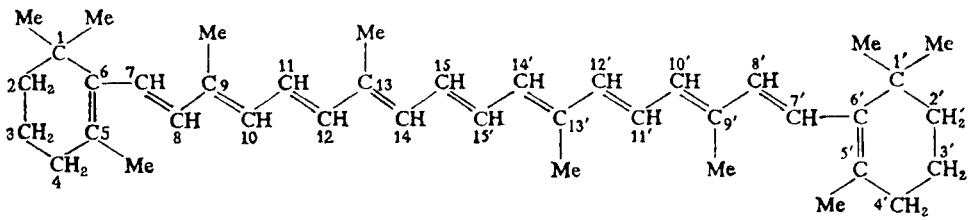
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Феофорбид c_2 (феопорфирин c_2)	*См.* Хлорофилл c_2, где нет Mg. *M* 586,6	Спектр: в ац. λ_{max} (и $A_{отн}$) 651 (0,1), 596 (0,9), 574 (1,0) и 532 (0,9); в эф. (Ме-эфир) λ_{max} (и $A_{отн}$) 665 (0,57), 595 (0,95), 573 (0,97), 530 (1,0) и 428 (8,87). Раств-сть: как у феофорбида c_1. Получ. и опр. *см.* Феофорбид c_1. Флуоресценция: F_{max} при 20°C в ац. 725 и 655 нм ($\varphi_{725} > \varphi_{655}$).
Хлорофилл *d*	*См.* Хлорофилл *a*, где —CH=CH$_2$ в положении 2 замещен на —CHO. *M* 892,5	Спектр: в эф. λ_{max} (и ε) 688 (110,4), 643 (14,3), 595 (9,47), 548,5 (4,03), 512 (1,98), 447 (97,8) и 392 (58,9). Раств-сть: р. EtOH, эф., ац., бенз.; о. п. р. петр. эф. Обнаружен в красных водорослях (*Gigartina papillata*). Получ. см. [Can. J. Bot. **39**, 327 (1961); **37**, 507 (1959)]. Флуоресценция: в эф. F_{max} 696 и 752 нм. HCl-число > 32. Обратимо образует диметилацеталь.
Бактериохлорофилл *a*	 R = $C_{20}H_{39}$(фитил) $C_{55}H_{74}O_6N_4Mg$ *M* 911,5	Спектр: в эф. λ_{max} (и ε) 773 (697), 577 (530), 391,5, 358,5, 91,1 (9,1), 20,8 (2,7), 48,1 и 73,3; в MeOH λ_{max} (и ε) 772 (685), 608, 365, 42,0 (8,6), 15,4 и 53,9. Раств-сть: р. эф., ац., MeOH, бенз., пир.; н. р. петр. эф. Обнаружен в пурпурных и коричневых фотосинтезирующих бактериях, некоторых зеленых серных бактериях. Фазовый тест: желт. → коричн. → зеленый. HCl-число ~ 25. Флуоресценция: в EtOH F_{max} 805 нм. Более уст. в очищенном состоянии, чем в сырых экстрактах. Получ. см. [**ABB 53**, 228 (1954); Am. J. Bot. **41**, 718 (1954)]. Феофорбид получ. кисл. обработкой хлорофилла; нет сведений о распространенности в природе.
Хлорофилл *c* из *Chlorobium* (660) (бактериохлорофилл *c*; бактериовиридин)		Спектр: λ_{max} 660, 625, 430 и 410. Обнаружен в *Chlorobium limicola, Chloroflexus aurantiacus* (в последнем фарнезильная гр. замещена стеарильной или др. гр.) [Ann. **1979**, 408]. R_1, R_2 – Et, Et (71%), Pr, Et (18%), Et, Me (10%), Bu, Et (1%) [Can. J. Chem. **48**, 88 (1966)]. Структуру см. [JCS, Perkin **1**, 845 (1978)]. Флуоресценция: F_{max} (эф.) 667 нм. Фазовый тест отрицательный. Метилфеофорбид: отсутствует Mg и фарнезильная гр. замещена метильной [JCS, Perkin **1**, 850 (1978)].

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Хлорофилл из *Chlorobium* (650) (бактериохлорофилл *d*)		Спектр: в эф. λ_{max} (и ε для неразделенной смеси) 650 (113,5), 612 (15,8), 575 (8,6), 530 (3,9), 425 (146) и 406 (87,2); в MeOH λ_{max} (и ε) 659 (82,3), 612,5 (18,0), 427 (83,5) и 411 (76,5); в ац. λ_{max} (и ε) 654 (98,0), 612,5 (16,4), 577,5 (9,2), 530 (3,9) 427 (125,9) и 406 (87,9). Раств-сть: р. эф., ац., MeOH; н. р. петр. эф. Обнаружен в зеленых серных бактериях. Фазовый тест отрицательный. Флуоресценция. F_{max} (эф.) 653 нм. Соответствующие феофорбиды, но не сами хлорофиллы были разделены на шесть компонентов $R' = C_2H_5$, C_3H_7 или *изо*-C_4H_{10}; $R'' = CH_3$ или C_2H_5; $R''' =$ = *транс*, *транс*-фарнезил ($C_{15}H_{25}$); $R'''' = H$ [*Vernon–Seely*, p. 112; Plant Cell Physiol. Tokyo **4**, 49 (1963)]. Получ. см. [BBA **41**, 478 (1960)].

11. Каротиноиды

В этом разделе приведены наиболее распространенные каротиноиды в порядке, приблизительно соответствующем их положению на хроматограммах (прежде следуют наиболее сильно адсорбирующиеся соединения и далее по мере уменьшения сорбции).

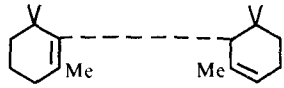
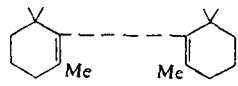
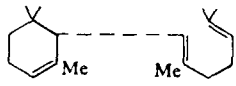
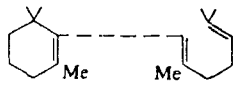
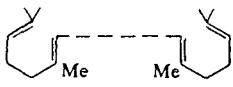
Растворимость. Большинство каротиноидов растворимы в ацетоне, бензоле и CS_2, но нерастворимы в воде. Каротиноиды, попавшие в число первых в этом разделе, более растворимы в гексане и других углеводородах, менее растворимы в спиртах, а те, что содержат гидроксильные группы и расположены ниже, более растворимы в спиртах.
Приведем формулу β-каротина:

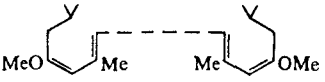


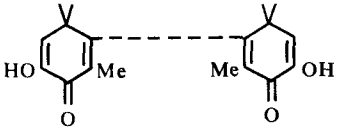
Поскольку все каротиноиды – соединения, родственные β-каротину, ниже принято схематичное изображение их формул.

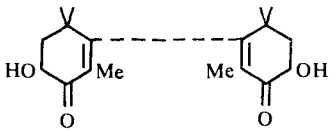
Номенклатура каротиноидов предложена в работах [BJ **127**, 741 (1973); EJB **25**, 397 (1972)].

Соединение	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Фитоин	7,8,11,12,12′,11′,8′,7′-Октагидроликопин Суммарная формула: $C_{40}H_{64}$ *M* 545,0	Спектр: в гексане λ_{max} 298, 286 и 275. Бесцв. вязкое масло. Небольшие кол-ва содержатся в листьях и плодах многих растений. В чистом виде происходит быстрое аутоокисл. Оптически неактивен.
Фитофлуин	7,8,12′,11′,8′,7′-Гексагидроликопин Суммарная формула: $C_{40}H_{62}$ *M* 542,9	Спектр: петр. эф. λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 367 ÷ 368, 348 (*цис* 1350, *транс* 1540) и 332. Бесцв. флуоресцирующее масло. Небольшие кол-ва содержатся в тканях многих зеленых растений, плодах и некоторых цветах. *Цис*-форма из томатов легко изомеризуется под действием света в более уст. *транс*-форму. С $SbCl_3$ в $CHCl_3$ дает временную синюю окраску, переходящую в пурпурную.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
α-Каротин	 Суммарная формула: $C_{40}H_{56}$ *M* 536,9	Спектры: в гексане λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 475, 445 (2710) и 420; в CS_2 λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 509 и 477 (2180). Фиол. призмы и их кластеры из бенз.–MeOH. $t_{пл}$ 187 ÷ 188. Содержится в листьях и корнях *Daucus carota*, плодах красной пальмы. Часто сообщают об обнаружении в др. материалах, не отличая от геометрических изомеров β-каротина. $[\alpha]_{Cd}$ + 385 (в бенз.). С $SbCl_3$ в $CHCl_3$ дает соединение синего цвета (λ_{max} 542 нм). Витаминная активность составляет половину активности β-каротина.
β-Каротин (каротин)	 Суммарная формула: $C_{40}H_{56}$ *M* 536,9	Спектр: в гексане λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 482, 451 (2550) и 425; в CS_2 λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 520, 485 (1940) и 450. Темно-фиол. гексагональные призмы из бенз.–MeOH. $t_{пл}$ 183. Главный каротиноид тканей зеленых растений и коричневых морских водорослей. Широко распространен в растениях и животных. В исключительно высокой концентрации содержится в цветах *Narcissus*. Оптически неактивен. Обладает активностью витамина А. С $SbCl_3$ в $CHCl_3$ дает синее окрашивание (λ_{max} 590 нм)
δ-Каротин	 Суммарная формула: $C_{40}H_{56}$ *M* 536,9	Спектр: в гексане λ_{max} 486, 456 и 430. Длинные красные иглы из CS_2–гексан–EtOH. $t_{пл}$ 140,5. Содержится в плодах *Lycopersicum esculentum*. $[\alpha]$ + 317 (в CS_2, с использованием фильтров Корнинга № 242 и 244).
γ-Каротин	 Суммарная формула: $C_{40}H_{56}$ *M* 536,9	Спектр: в петр. эф. λ_{max} ($A^{1\%}_{1\,см}$) 495, 462 (2720) и 431; в CS_2 λ_{max} 533,5, 496 и 463. Темно-красные призмы из бенз.–MeOH. $t_{пл}$ 131 ÷ 178. Содержится в листьях *Cuscuta salina* и *Juniperis virginiana*, инфицированного грибами, а также в некоторых плодах и цветах, многих грибах. Главный каротиноид *Chlorobium*. $t_{пл}$ меняется в зависимости от природного источника, что, возможно, обусловлено различиями в отн. кол-вах полностью *транс*-γ-каротина и про-γ-каротина.
Ликопин	 Суммарная формула: $C_{40}H_{56}$ *M* 536,9	Спектр: в гексане λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 506, 474 (3470) и 446; в CS_2 λ_{max} 547, 507 и 477. Длинные красные иглы из CS_2–EtOH. $t_{пл}$ 175. Главный пигмент в плодах *Lycopersicum esculentum*, *Rosa canina* и др. Изомерен β-каротину, но не обладает активностью витамина А.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
β-Криптоксантии (криптоксантол)	3-Гидрокси-β-каротин Суммарная формула: $C_{40}H_{56}O$ *M* 552,9	Спектр: в гексане λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 483, 451 (2460) и 425; в CS_2 λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 518, 483 (2040) и 453. Призмы из бенз.–MeOH. $t_{пл}$ 169. Содержится в семенах *Zea mais*, плодах *Physalis* и в небольших кол-вах в др. плодах, некоторых зеленых тканях и цветах; также в яйцах, сливочном масле и крови. Если префикс опущен, подразумевается β-форма. Половинная активность витамина А (отн. β-каротина). В природе встречается в этерифицированном виде. С $SbCl_3$ в $CHCl_3$ дает темно-синее окрашивание (λ_{max} 590 нм). Моноацетильное производное: $t_{пл}$ 117 ÷ 118. Фазовый тест, как у α-криптоксантина.
Спириллоксантин (родовиоласцин)	 Суммарная формула: $C_{42}H_{60}O_2$ *M* 596,9	Спектр: в бенз. λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 548, 511 (2470) и 482; в CS_2 λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 573,5, 534 (1965) и 496,5. Веретенообразные крист. глубокого красного цвета из бенз. $t_{пл}$ 218. Главный каротиноид красных и пурпурных фотосинтезирующих бактерий. Содержится в некоторых грибах, напр. *Neurospora crassa*. С $SbCl_3$ в $CHCl_3$ дает синее окрашивание (λ_{max} 642 нм).
Лютеин (ксантофилл)	3,3′-Дигидрокси-α-каротин Суммарная формула: $C_{40}H_{56}O_2$ *M* 568,9	Спектр. в гексане λ_{max} 477, 447 и 420; в CS_2 λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 508, 475 (2160) и 445; в MeOH λ_{max} 474, 444 и 418. Фиол. призмы +1 MeOH из MeOH. $t_{пл}$ 193. Главный каротиноид (ксантофилл) тканей зеленых растений. Широко распространен в плодах, семенах, цветах. Содержится также в яйцах и многих животных жирах. $[\alpha]_{Cd}$ +160 ($CHCl_3$). Не обладает активностью витамина А. С $SbCl_3$ в $CHCl_3$ дает интенсивное темно-синее окрашивание. В конц. H_2SO_4 зеленая окраска, переходящая в синюю. Диацетильное производное: $t_{пл}$ 170.
Зеаксантин (зеаксантол)	3,3′-Дигидрокси-β-каротин Суммарная формула: $C_{40}H_{56}O_2$ *M* 568,9	Спектр: в гексане λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 483, 451 (2480) и 423; в CS_2 λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 517, 482 (2230) и 450. Желт. пластинки из MeOH $t_{пл}$ 215,5. Содержится в плодах, семенах, некоторых цветах, в след. кол-вах в зеленых листьях и яичном желтке. $[\alpha]_D$ −40 ÷ −45,2 ($CHCl_3$). Диацетильное производное: $t_{пл}$ 154 ÷ 155.
Лютеинэпоксид (элоксантин)	Лютеин-5,6-эпоксид Суммарная формула: $C_{40}H_{56}O_3$ *M* 584,9	Спектр: в петр. эф. λ_{max} 471 и 442; в CS_2 λ_{max} 501,5 и 472. Красно-желт. крист. из бенз.–MeOH. $t_{пл}$ 192.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		Содержится в цветах и листьях. О. неуст. к кисл. (даже в след. кол-вах), при этом превращается во флавоксантин и хризантемаксантин. Диацетильное производиое: $t_{пл}$ 184 ÷ 185.
Флавоксантин	5,8-Эпоксилютеин Суммарная формула: $C_{40}H_{56}O_3$ *M* 584,9	Спектр: в гексане λ_{max} 450 и 421; в CS_2 λ_{max} 479 и 449. Золотые, собранные в пучки призмы из MeOH. $t_{пл}$ 184. Содержится в цветах *Ranunculus acer, Taraxacum officinale* и некоторых др., в небольших кол-вах в зелеиых тканях и некоторых плодах. Изомер хризантемаксантина. Может образовываться из лютеинэпоксида при экстракции. $[\alpha]_{Cd}^{20}$ +190 (в бенз.). Неуст. синяя окраска с конц. HCl. С $SbCl_3$ в $CHCl_3$ дает синее окрашивание. Диацетильное производное $t_{пл}$ 157.
Виолаксантин	5,6,5′,6′-Диэпоксизеаксантин $C_{40}H_{56}O_4$ *M* 600,9	Спектр: в гексане λ_{max} 472, 443 и 417,5; в CS_2 λ_{max} 501, 470 и 440. Желто-оранж. призмы из MeOH. $t_{пл}$ 200 (208). Содержится в цветах *Viola tricolor* и многих др., а также некоторых плодах. Важный каротиноид зеленых листьев. $[\alpha]_{Cd}$ +35 (в $CHCl_3$). О. неуст. к кисл. Раств. в конц. H_2SO_4 имеют синий цвет индиго, в лед. укс. кисл.–зеленый цвет. С $SbCl_3$ в $CHCl_3$ дает окрашивание глубокого синего цвета. Дибензоильное производное $t_{пл}$ 217.
Ауроксантин	5,8,5′,8′-Диэпоксизеаксантин $C_{40}H_{56}O_4$ *M* 600,9	Спектр: в EtOH λ_{max} (и $A_{1\,см}^{1\%}$) 428, 403 (1850) и 382; в CS_2 λ_{max} 454 и 423. Желт. иглы из MeOH. $t_{пл}$ 203. Содержится в цветах *Viola tricolor*. Получ. при обработке виолаксантина разб. HCl О. уст. синяя окраска с 15%-ной HCl.
Астацин	 Суммарная формула: $C_{40}H_{48}O_4$ *M* 592,8	Спектр: в CS_2 λ_{max} 500. Фиол. иглы из пир.–H_2O. $t_{пл}$ 240 ÷ 243. Содержится во многих тканях животных, особ. панцирях ракообразных, иногда вместе с астаксантином. В этерифицированном виде (астацеин) в панцирях раков и крабов. Астацин образуется из ововердина, комплекса астаксантин–белок; т. обр. некоторые сообщения о выд. астацина могут быть ошибочными. Оптически неактивен. С $SbCl_3$ в $CHCl_3$ дает сине-зеленое окрашивание. Диацетильное производное. $t_{пл}$ 235 (разл.). Дипальмитоильное производное: $t_{пл}$ 121.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Астаксантин	 Суммарная формула: $C_{40}H_{52}O_4$ *M* 596,9	Спектр: в CS_2 λ_{max} 502; в пир. λ_{max} 513, 493 и 476. Фиол. пластинки из пир. $t_{пл}$ 215 ÷ 216 (разл.). Типичный каротиноид тканей многих животных, особ. ракообразных. Найден в некоторых зеленых водорослях, включая *Haematococcus pluvialis*. Входит в состав хромопротеинов, напр. ововердина раков, из которого он выделяется под действием кисл., орг. раств-лей и при нагрев. В отсутствие возд. дает голубую окраску с щел. Оптически неактивен. Диацетильное производное: $t_{пл}$ 203 ÷ 205. Дипальмитоильное производное: $t_{пл}$ 71,5 ÷ ÷ 72,5.
Фукоксантин	3′-Ацетокси-6′,7′-дидегидро-5,6-эпокси-5,5′,6,6′,7,8-гексагидро-3,5′-дигидрокси-8-оксо-β-каротин Суммарная формула: $C_{42}H_{58}O_6$ *M* 658,9	Спектр: в гексане λ_{max} (и $A^{1\%}_{1\,см}$) 469, 451 (760) и 438; в CS_2 λ_{max} 510, 477 и 445. Коричн.-красные призмы +3MeOH из MeOH. Иглы из эф.–петр. эф. $t_{пл}$ 166 ÷ 168. Типичный каротиноид *Phaeophyceae, Chrysophyceae* и диатомовых водорослей. С конц. H_2SO_4 дает глубокое синее окрашивание. Гидрохлорид $C_{42}H_{58}O_6 \cdot 4HCl$: $t_{пл}$ 215. Чистое вещество оптически неактивно в бенз.; также приводится $[\alpha]_D^{18}$ +72 ± 9 ($CHCl_3$). Глубокая синяя окраска с 25%-ной HCl.

12. Регуляторы роста растений

В этот раздел включены природные фитогормоны, синтетические стимуляторы роста, антигормоны и те гербициды, которые приводят к благоприятным изменениям в агрикультуре растений (повышение урожайности, улучшение качества или упрощение процедуры сборки урожая); другие гербициды могут быть найдены в разд. 13, Г «Ингибиторы функций митохондрий и хлоропластов».

Фитогормоны

Letham D. S., Goodwin P. B., Higgins T. J. V. (eds.), Phytohormones and related compounds. Vol. 1, The biochemistry of phytohormones and related compounds. Vol. II, Phytohormones and the development of higher plants. Elsevier/North-Holland, Amsterdam (1978).

Тома Annual Review of Plant Physiology включают главы, посвященные абсцизовой кислоте [**31**, 453 (1980)], ауксинам [**25**, 487 (1974); **28**, 439 (1977)], цитокининам [**24**, 415 (1973); **34**, 163 (1983)], этилену [**30**, 533 (1979)], гиббереллинам [**24**, 571 (1973); **29**, 149 (1978)], а также материал, касающийся регуляции метаболизма рибонуклеиновых кислот растительными гормонами [**28**, 537 (1977)], связывания гормонов в растениях [**27**, 267 (1976); **32**, 569 (1981)], быстрого ответа на растительные гормоны [**25**, 195 (1974)], методов анализа регуляторов роста [**32**, 511 (1981)].

The encyclopedia of plant physiology (N. S.) Vol. 4 (1976). Physiological plant pathology (Pirson A. et al., eds.); and Vol. 9 (1980) Hormonal regulation of development, I. Molecular aspects of plant hormones (MacMillan J., ed.).
Есть главы, посвященные природным регуляторам роста, встречающимся в здоровых и больных растениях.

Регуляторы роста в садоводстве и земледелии

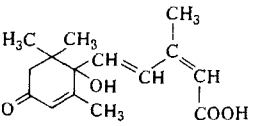
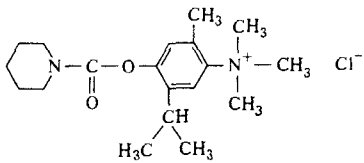
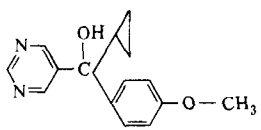
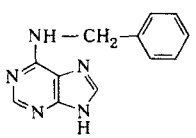
Weaver A. J., Growth substances in agriculture. W. H. Freeman, San Francisco (1972).
Nickell L. G., Plant growth regulators: agricultural uses. Springer-Verlag, Berlin (1982).
Thomas T. H. (ed.), Plant growth regulator potential and practice. BCPC Publications, Croydon (1982).

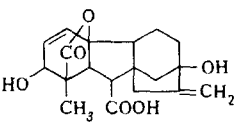
Гербициды

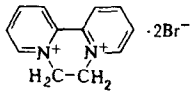
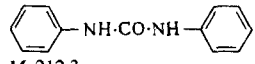
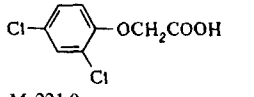
Audus L. G. (ed.), Herbicides – physiology, biochemistry, ecology. Vols. I, II. Academic Press, London (1976).
Moreland D. E., Mechanism of action of herbicides. Ann. Rev. Plant Physiol. **31**, 597, 1980.
Fedtke C., Biochemistry and physiology of herbicide action. Springer-Verlag, Berlin (1982).

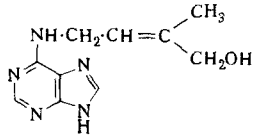
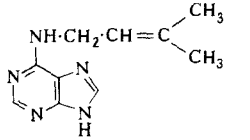
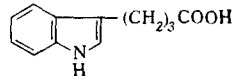
Регуляторы роста в культуре растительных тканей

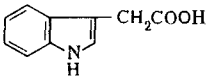
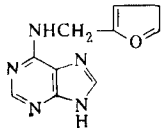
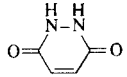
Reinert J., Bajay P. S. (eds.), Applied and fundamental aspects of plant cell, tissue, and organ culture. Springer-Verlag, Berlin (1977).
Street H. E. (ed.), Plant tissue and cell culture, 2nd edn Blackwell, Oxford (1977).
Reynolds J. F., Murashige T., Plant Cell lines, Meth. Enzymol. **58**, 478 (1979).

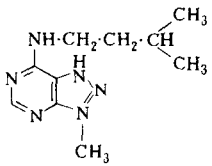
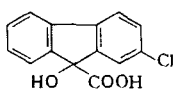
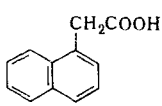
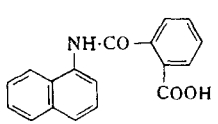
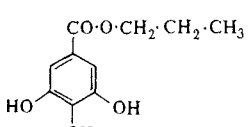
Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Абсцизовая кислота (ABA; дормин; абсцизин II; 5-(1-гидрокси-2,6,6-триметил-4-оксоциклогексен-2-ил-1)-3-метилпентадиен-2,4-овая кислота)	 *M* 264,3	λ_{max} (MeOH) 252 нм, ε 25200. Природная форма (+)-2-*цис*. Раств-сть: 0,06 H_2O; р. водн. $NaHCO_3$, ац., $CHCl_3$; м.р. петр. эф. Природный ингибитор роста, вызывает состояние покоя листьев и почек, опадание плодов и листьев, старение, замедленные прорастание семян и цветение, закрытие устьиц. В биотестах на раскрытие устьиц (в цитратном буфере, pH 5,5) линейный ответ при $10^{-10} \div 10^{-7}$ М. Использ. как дефолиант и ингибитор роста. Для крыс (перорально) $ЛД_{50} > 400$ мг/кг.
Алар (B-9; B-995; SADH; даминозид; 2,2-диметилгидразид янтарной кислоты)	$HOOCCH_2CH_2CONHN(CH_3)_2$ *M* 160,0	$t_{пл}$ 145 ÷ 146. Раств-сть: 10^{25} H_2O. Ингибирует синтез 3-индолилуксусной кисл. Использ. как замедлитель роста и стимулятор многоцветия.
АМО 1618 (2-изопропил-4-диметиламино-5-метилфенил-1-пиперидинкарбоксилатметилхлорид)	 *M* 354,9	$t_{пл}$ 179. Антигиббереллиновый ретардант роста. Ингибирует биосинтез гибберелловой к-ты путем блокирования циклизации C_{20}-геранилгеранилдифосфата до (−)-каурена; в процессе биосинтеза микросомального холестерина ингибирует сквален-2,3-оксид-циклазу, вызывающую накопление сквален-2,3-эпоксида [JBC **250**, 1571 (1975)]; также ингибирует биосинтез дезметилстерола [Phytochem. **17**, 705 (1978)].
Анцимидол (α-циклопропил-α-(*n*-метоксифенил)-5-пиримидинметанол; EL-531; A-rest)	 *M* 256,3	$t_{пл}$ 110 ÷ 111. Неуст. в раств. при pH ⩽ 4. Раств-сть: 0,065 H_2O; р. ац., MeOH, $CHCl_3$. Антигиббереллин. (При 10^{-4} М ингибирует нормальный рост междоузлий; действие подавляется гибберелловой к-той [Plant Physiol. **48**, 537 (1971)]. Ингибитор окисления энткаурена-16 в препаратах микросом. $K_i \sim 2 \cdot 10^{-9}$ М. Специфичен для растительных тканей. В качестве ингибитора микросом печени аналогичен метирапону; оба связываются с Cyt P450 [Plant Physiol **62**, 571 (1978)].
N^6-Бензиладенин (6-бензиламинопурин; BA)	 *M* 225,3	pK_a 10,9. $t_{пл}$ 232. В EtOH λ_{max} 270 нм, ε 18000; в 0,1 М HCl λ_{max} 274 нм, ε 16500; в 0,1 М NaOH λ_{max} 275 нм, ε 17000. Раств-сть: 0,006 H_2O; < 0,001 гексан; 0,37 ац.; 0,68 MeOH; 13,3 ДМСО. Синтетический цитокинин. При 10^{-8} М стимулирует деление клеток в культуре недифференцированных тканей в присутствии ауксина; увеличивает образование вторичных продуктов у растений (10^{-6} М); вызывает растяжение клеток в семядолях, способствует прорастанию семян, задерживает старение, стимулирует движение метаболитов (10^{-6}–10^{-4} М). Использ. как наруши-

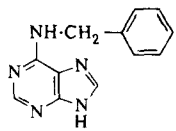
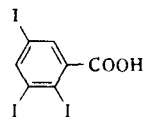
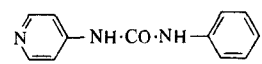
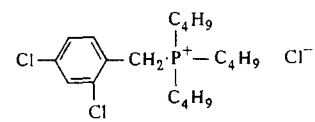
Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
•		тель состояния покоя и стимулятор роста [Anal. Meth. Pestic. Plant Growth Regul. **10**, 545 (1978)].
Бензимидазол	 *M* 170,5	Сл. основание. pK_a (25°C) 5,48. $t_{пл}$ 170,5. Раств-сть: р. EtOH; ум. р. хол. H_2O, более р. гор. H_2O; ум. р. эф.; н. р. бенз., петр. эф. Проявляет некоторую активность цитокинина в биотестах по старению листьев и продуцированию пигментов ($5 \cdot 10^{-4}$ М), но не в стимуляции клеточного деления или мобилизации метаболитов.
Гиббереллловая кислота (GA_3; 1,4-лактон 2,4а,7-тригидрокси-1-метил-8-метиленгиббен-3-карбон-1,10-овой кислоты)	 *M* 346,4	$t_{пл}$ 227 (разл.). Раств-сть: х. р. EtOH, ац.; р. петр. эф., эф.; м. р. H_2O. Природный фитогормон, участвующий в продлении роста междоузлий, стимуляции цветения, субапикальном делении клеток, устранении карликовости, индукции партенокарпии, стимуляции синтеза амилазы. В биотестах линейный ответ при 10^{-5}–10^{-2} мгк/мл с эндоспермой ячменя, 0,001–10 мкг/мл с карликовой кукурузой, 0,025–125 мкг/мл с междоузлиями гороха. Механизм действия включает индукцию специфических мРНК и контроль биосинтеза и функции мембран. Использ. как стимулятор поддержания нужного кол-ва амилазы в ячменном солоде, стимулятор роста бессемечкового винограда, инициатор цветения (заменяет стимулирование увеличением продолжительности дня или понижением темп.), стимулятор роста побегов.
Глифозин (N, N-бис(фосфонометил)глицин; поларис; Polaris)	$HOOCCH_2N(CH_2PO_3H_2)_2$ *M* 263,1	$t_{пл}$ 200 (разл.) Раств-сть: $24,8^{20}$ H_2O. Химич. стимулятор созревания. Повышает содержание сахара в тростнике. Для млекопитающих (перорально) $ЛД_{50}$ 3,9 г/кг. Глифозат: изопропиламмониевая соль (N-(фосфонометил)-глицина (Roundup)–использ. как гербицид. В сублетальных концентрациях ($7,5 \cdot 10^{-5}$ М) индуцирует образование побегов у сорго, пшеницы. Ингибирует базипетальный транспорт ауксина [Plant Physiol **63**, 882 (1979)]. При 10^{-3} М стимулирует фенилаланинлиазу в корнях растущих в темноте проростков кукурузы [Plant Sci. Lett. **11**, 185 (1978)]. При $6 \cdot 10^{-4}$ М разобщает окислительное фосфорилирование митохондрий зерна, повышает активность митохондриальной АТРазы [FEBS Lett. **97**, 279 (1979)]. Оказывает

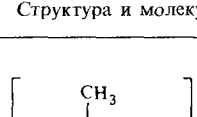
Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		сильное действие на биосинтез ароматических аминокислот [Plant Physiol. **66**, 823, 830 (1980)].
Дикват (1,1′-этилен-2,2′-дипиридилийдибромид; дибромид 1,1′-этилен-2,2′-дипиридилия)	 $\cdot 2Br^-$ *M* 344,1	E'_0 −0,349 В. λ_{max} 308,3 нм, ε 18000. Уст. в кисл. или нейтр. раств. Раств-сть: 70^{20} H_2O. Использ. как индикатор в окислительно-восстановительных р-циях, контактный гербицид и ингибитор цветения сахарного тростника. Наиболее эффективные дипиридилиевые гербициды – четвертичные соли 2,2′- (т. е. дикват) и 4,4′- (т. е. паракват) дипиридила, т. е. соединения с E'_0 $-300 \div -500$ мВ, в которых два пиридиновых кольца находятся в одной и той же плоскости. Исключение – бензилвиологен, который, по-видимому, более медл. проникает в растения; см. также паракват (метилвиологен) и бензилвиологен. Предполагаемый механизм действия: разрушение клеточных мембран, которое следует за распадом ненас. жирных кисл. под действием O_2^-, образующегося в процессе окисл. дипиридилия. Для крыс, мышей и кроликов (перорально) $ЛД_{50}$ 231, 125 и 101 мг/кг [Summers L. A., The bipyridinium herbicides, Academic Press, London, 1980].
N,N′-Дифенилмочевина (DPU; 1,3-дифенилмочевина; дифенилкарбамид; карбанилид)	 *M* 212,3	$t_{пл}$ 238. $t_{кип}$ 260 (разл.) Раств-сть: 0,015 H_2O; р. эф., лед. укс. кисл.; ум. р. EtOH, ац., $CHCl_3$; 6,9 пир. Ряд замещенных производных фенилмочевины обнаруживает цитокининовую активность, проявляющуюся в задержке старения, стимуляции образования боковых почек, стимуляции прорастания и деления клеток [Proc. Roy. Soc. B, **165**, 245 (1966)].
2,4-Дихлорофеноксиуксусная кислота (2,4-D)	 *M* 221,0	pK_a 2,64. λ_{max} 201 нм (ε 38000), 230 (7500), 283 (1900), 291 (1600). $t_{пл}$ 140,5. Раств-сть: $0,06^{25}$ H_2O; 60^{31} EtOH; 45^{33} ац. Синтетический ауксин и селективный «убийца» сорняков. Селективность – отчасти результат более сл. проникновения в травянистые растения, чем в широколистные сорняки, а также большей поверхности листьев, что обеспечивает большее накопление распыленного препарата в семядолях. Аномальное накопление производных кумарина, более токсичное для широколистных растений, чем для травянистых, может приводить к гибели растений. Использ. как гербицид и регулятор опадения плодов. Для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ 0,3 ÷ 1 г/кг. Др. важные хлорированные феноксисоедине-

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		ния – это 2,4,5-трихлорофеноксиуксусная кислота (2,4,5-Т), (4-хлоро-О-толил)-оксиуксусная кислота (МСРА) и 4-(2,4-дихлорофенокси)масляная кислота (2,4-DB). Последняя (и др. феноксикислоты с четным числом атомов С в цепи) в чувствительных растениях превращается в результате β-окисления в 2,4-дихлорофеноксиукс. кисл.; люцерна устойчива, так как лишена такого пути. Для использ. в культуре клеток 2,4-дихлорофеноксиукс. кисл. (10^{-7}–10^{-5} М) предпочтительнее, чем ауксин, который подвергается быстрой метаболической деградации.
Зеатин (*t*-io^{6}Ade; 6-(4-гидрокси-3-метил)-*транс*-бутен-2-иламинопурин)	 *M* 219,2	Природный цитокинин. В биотестах с каллусом соевых бобов предел обнаружения $5 \cdot 10^{-11}$ М. Содержится в *цис*-форме в тРНК из растительных тканей (0,01 ÷ 0,075 моль/100 моль тРНК). *См.* Изопентениладенин. Рибозид (рибозилзеатин; 6-(4-гидрокси-3-метил-*транс*-бутен-2-иламино)-9-β-D-рибофуранозилпурин; *t*-io^{6}A): *M* 351,4
N^6-(Изопентен-2-ил)аденин (IPA; 2iP; i^{6}Ade; 6-(3-метилбутен-2-иламино)пурин; N$_6$- (γ,γ-диметилаллил)аденин)	 *M* 203,2	$t_{пл}$ 212 ÷ 214. λ_{max} pH 7 269 нм (ε 19400); pH 1 273 (18600); pH 13 275 (18100). pK_a 3,4; 10,4. Природный цитокинин. Механизм действия *см.* Бензиладенин. Содержится в тРНК (расположен рядом с антикодоном с 3′-конца) дрожжей (0,05 ÷ 0,17 моль/100 моль тРНК). В бактериях вместо него обычно 2-метилтиопроизводное, в растительных тканях гидроксипроизводное, т.е. N^6-(*цис*-4-гидроксиизопентенил)аденин, и соответствующее 2-метилтиосоединение. Эти модифицированные основания всегда содержатся в молекулах тРНК, у которых антикодон комплементарен кодону, начинающемуся с U [PNARMB **10**, 57 (1970); **12**, 49 (1972)]. Рибозид (N^6-изопентен-2-ил)аденозин: (6-(3-метилбутен-2-иламино)-9-β-D-рибофуранозилпурин; 2iPA; i^{6}A): *M* 335,4. $t_{пл}$ 145 ÷ 147. λ_{max} pH 7 269 нм (ε 20000); pH 1 265 (20400); pH 13 269 (19800).
3-Индолилмасляная кислота (IBA)	 *M* 203,2	$t_{пл}$ 123 ÷ 125. Раств-сть: р. EtOH, ац., эф., н. р. H_2O, $CHCl_3$. Синт. ауксин, использ. как инициатор роста корня у черенков. Для мышей в. б. $ЛД_{50}$ 100 мг/кг. Гипогликемическое и опухолеродное действие на крыс.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
3-Индолилуксусная кислота (IAA; ауксин)	 *M* 175,2	$t_{пл}$ 165 (разл.) (162 ÷ 170). pK_a 4,54. Водн. раств. разл. под действием УФ-света, но уст. к видимому свету. Раств-сть: 0,16 H_2O; х. р. EtOH; р. ац., эф.; м. р. бенз., дихлороэтан; н. р. $CHCl_3$. Природный фитогормон, участвующий в растяжении клеток, особ. в колеоптилях, в инициации корнеобразования при ингибировании его роста, доминировании верхушки и ингибировании почкования, опадании листьев и плодов, дифференциации и партенокарпии роста плодов. Активирует выведение протонов и захват K^+ в чувствительных клетках; ионы водорода прямо или косвенно (путем воздействия на ферменты) увел. пластичность клеточных стенок, обеспечивая расширение клетки в ответ на клеточное тургорное давление. Ауксины действуют также на уровне экспрессии генов.
Кинетин (N^6-фурфуриладенин; 6-фурфуриламинопурин)	 *M* 215,2	$t_{пл}$ 266 ÷ 267 (запаянная трубка). Субл. 220. pK_a 2,7; 9,9. λ_{max} EtOH 268 нм (ε 18650); 0,1 M HCl 274 (16900); 0,1 M NaOH 273 (17400). Раств-сть: м. р. H_2O; MeOH, EtOH; р. разб. водн. HCl или NaOH; может быть экстрагирован из нейтр. водн. раств. встряхиванием с эф. Синт. цитокинин. Механизм действия *см.* Бензиладенин. Первоначально был выделен из автоклавированной ДНК. Использ. как нарушитель состояния покоя. В биотестах с каллусом соевых бобов предел обнаружения $5 \cdot 10^{-9}$ M. В биотестах линейный ответ при $5 \cdot 10^{-8} - 5 \cdot 10^{-6}$ M (увеличение размеров листа редиса), $5 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-5}$ M (увядание листьев *Xanthium*), $2 \cdot 10^{-8} - 5 \cdot 10^{-5}$ M (каллус соевых бобов), $5 \cdot 10^{-9} \div 5 \cdot 10^{-7}$ M (ткань корня моркови).
Малеиновой кислоты гидразид (1,2-дигидро-3,6-пиридазиндион)	 *M* 112,1	$t_{разл}$ 260. Раств-сть: 0,6[25] H_2O; м. р. гор. EtOH. Синт. ингибитор роста, при высоких конц. гербицид. Аналог урацила. Общий ингибитор меристематической активности. В виде диэтаноламмонийной соли использ. как вносимый в почву замедлитель роста для предотвращения прорастания картофельных клубней и лука и образования боковых побегов у табака. Для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ 4 г/кг.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
3-Метил-7-(3-метилбутиламино)пиразоло[4.3-*d*]пиримидин	 *M* 218,3	$t_{пл}$ 184 ÷ 188. λ_{max} pH 1 311 нм (327 пл.) (ε 12700); pH 7 295 (288 пл.) (12100); (pH 12 245 (265 пл.) (14700). Цитокининовый антагонист [Phytochem. **12**, 25 (1973); Biochem. Soc. Symp. **38**, 195 (1973)]. В присутствии 0,003 мкМ IPA в биотесте с табаком ингибирование наблюдается при 0,1 мкМ, летален при 0,73 мкМ.
Морфактин (CFL; IT 3299; 2-хлоро-9-гидроксифлуорен-9-карбоксилат; метильное производное хлорофлуренола, IT 3456)	 *M* 260,7	$t_{пл}$ 152. Раств-сть: $0{,}0018^{20}$ H_2O. Антиауксин, влияет, по-видимому, на транспорт и метаболизм ауксина. Ингибирует гео- и фототропизм при 6×10^{-5} М. Стимулирует опадение цветов и плодов, что, возможно, обусловлено увеличением продукции C_2H_4. Противодействует ауксину. Ингибирует слияние пузырьков аппарата Гольджи в клеточную пластинку. При высоких конц. использ. для борьбы с сорняками [Ann. Rev. Plant Physiol. **21**, 499 (1970)].
1-Нафталинуксусная кислота (NAA; нафтилуксусная кислота)	 *M* 186,2	$t_{пл}$ 134 ÷ 135. Раств-сть: $0{,}04^{17}$ H_2O; р.30%-ный EtOH; х. р. ац., эф., $CHCl_3$. Синт. ауксин. В культуре растительных клеток (при $10^{-7} \div 10^{-5}$ М) использ. предпочтительнее, чем IAA, которая подвергается быстрому метаболизму. Использ. для ускорения созревания плодов, для стимуляции цветения ананасов, предотвращения преждевременного опадения плодов, для индукции образования корней у черенков. Для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ 1 г/кг.
N-1-Нафтилфталаминовая кислота (NPA; нафталам, аланап)	 *M* 291,3	$t_{пл}$ 203. Гидрол. сильн. кисл. и основаниями. Раств-сть: < 0,02 H_2O; р. щел. раств., разл. > pH 9,5; м. р. EtOH, ац., бенз. Антиауксин; ингибирует полярный транспорт ауксина, возможно, путем конкуренции за ауксинсвязывающий белок. Использ. как довсходовый гербицид. Для млекопитающих (перорально) $ЛД_{50}$ > 8,5 г/кг.
н-Пропилгаллат (тенокс PG)	 *M* 212,2	$t_{пл}$ 150. Раств-сть: $0{,}35^{25}$ H_2O; 103^{25} EtOH; 83^{25} эф. Ингибитор синтеза этилена (1 мМ) [Plant Physiol. **60**, 794 (1977)]; ингибитор липоксигеназы и «альтернативного дыхания» в соевых бобах (0,5 мМ) [Plant Physiol. **62**, 470 (1978)]; в последнем случае в 10 раз более эффективен, чем салицилгидроксамовая кислота. Добавляется в пищу в качестве антиоксиданта. Темнеет в присутствии солей Fe. Для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ 2,5 ÷ 4 г/кг.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Ризобитоксин (L-2-амино-4-(2′-амино-3′-гидроксипропокси)-*транс*-бутен-3-овая кислота; Ro)	$CH_2OH \cdot CHNH_2 \cdot CH_2O \cdot CH$ $\|\|$ $HC \cdot CHNH_2 \cdot COOH$ *M* 190,2	Антиэтиленовый фитотоксин, продуцируемый некоторыми штаммами соевых клубеньковых бактерий *Rhizobium japonicum*. При $10^{-4} \div 10^{-3}$ М ингибирует продуцирование этилена [Plant Physiol. **61**, 886 (1978)]. Ингибирует β-цистатионазу; пиридоксальфосфат обращает действие [BBA **227**, 671 (1971)]. Близкий аналог аминокислот [Ann. Rev. Plant Physiol. **30**, 544 (1979)].
Серебра нитрат	$Ag^+NO_3^-$ *M* 169,9	Антиэтиленовое действие. Ag^+ при $10^{-4} \div 10^{-3}$ М использ. для ингибирования ответа растений как на эндогенный, так и экзогенный этилен [Plant Physiol. **63**, 169 (1979)]. Аиионный тиосульфатный комплекс $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ менее фитотоксичен; мобилен в транспортной системе растений [Scientia Hortic **20**, 211 (1983)].
Тетрагидропиранилбензиладенин (SD 8339; PBA; 6-бензиламино-9-(тетрагидропиранил-2)пурин)	 *M* 227,3 (в положении N-9 вместо H должна быть группа C_5H_9O)	Высокоактивный синт. цитокинин. Механизм действия *см.* Бензиладенин.
2,3,5-Трииодобензойная кислота (TIBA)	 *M* 499,8	$t_{пл}$ 224 ÷ 226. Раств-сть: м.р. H_2O; р. ац.; эф.; толуол. Антиауксин. Кол-во эндогенного ауксина снижается. Может блокировать транспорт ауксина, увел. разрушение IAA или вызывать иммобилизацию ауксина. Использ. как ретардант роста, а также для увел. числа стручков у сои.
N-Фенил-N′-(4-пиридил)мочевина (NC 5392)	 *M* 213,2	$t_{пл}$ 162 ÷ 163. Раств-сть: > 0,01 H_2O. Синт. цитокинин, особ. активен в стимуляции образования ростков [Physiol. Plant **38**, 35 (1976)]. Структурно-функциональные исследования производных показывают, что наибольшей активностью в тестах с каллусом табака обладают N-(2-хлоро-4-пиридил)-N′-(замещенный или незамещенный фенил)мочевины [Phytochem. **17**, 1201 (1978)].
Фосфон D (хлорфонийхлорид; 2,4-дихлоробензилтрибутилфосфонийхлорид)	 *M* 397,8	$t_{пл}$ 114 ÷ 120. Раств-сть: р. H_2O. Антигиббереллин, ретардант роста. Приводит к уменьшению роста субапикальной меристемы, не действуя на саму меристему.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Хлорохолинхлорид (CCC; хлормекват; (2-хлороэтил)триметиламмонийхлорид)	 M 158,1	$t_{разл}$ 245. Водн. раств. уст., но вызывают коррозию металлов. Раств-сть: 74^{20} H_2O. Антигиббереллиновый ретардант роста. Аналог холина. Использ. для уменьш. высоты пшеницы и пуансеттии, для ускорения созревания сахарного тростника и для снижения полегаемости хлебных злаков.
Этефон (2-хлороэтилфосфоновая кислота; Ethrel; Cepha)	$ClCH_2CH_2PO_3H_2$ M 144,5	О. гигр. иглы из бензола. $t_{пл}$ 74 ÷ 75. Раств-сть: х. р. H_2O, MeOH, ац., этиленгликоль; м. р. бенз., толуол; н. р. петр. эф. Генерирует этилен. Водн. раств. уст. при pH < 3,5. Освобождает этилен при pH > 4,1 [Plant Physiol. **63**, 474 (1979)]. Вызывает опадение листьев, цветов и плодов, способствует цветению и созреванию плодов, вызывает эпинастию листьев, нарушает состояние покоя и индукцию синтеза ферментов. Ингибирует митоз, синтез ДНК, полярный и латеральный транспорт ауксина. Использ. при конц. 2–200 мкл/л. Использ. как стимулятор выд. латекса каучуконосов, созревания сахарного тростника, цветения ананасов, усиления окраски. Обработка до или после сборки урожая ускоряет созревание многих фруктов. Применяется в виде аэрозоля с ~pH 1,0; может вызывать раздражение при попадании на кожу или в глаза или при вдыхании. Для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ 4,2 г/кг.
Этилен (этен)	$CH_2{=}CH_2$ M 28,1	Бесцв. газ. $t_{кип}$ −102,4. Раств-сть: х. р. EtOH; р. эф.; н. р. H_2O. Действие *см.* Этефон. В тройном биотесте с горохом лин. ответ при $0{,}025 \cdot 10^{-4} \div 0{,}1 \cdot 10^{-4}$%. Для поглощения и удаления этилена из возд. использ. $HgClO_4$.

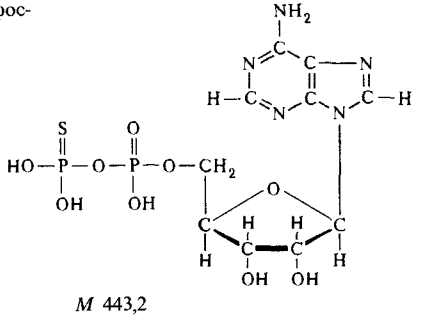
13. Антиметаболиты, антибактериальные агенты и ингибиторы ферментов

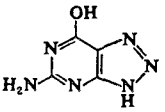
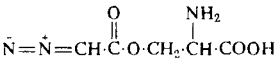
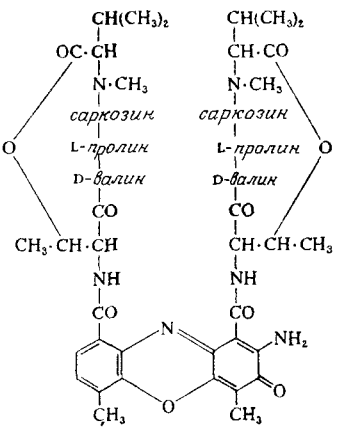
А. Вещества, влияющие на нуклеиновые кислоты

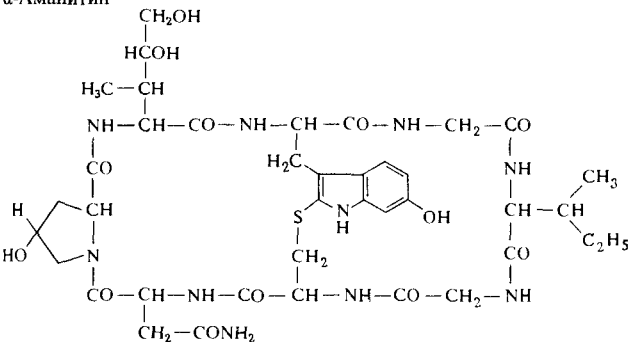
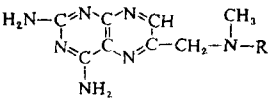
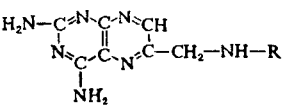
В данный раздел включены ингибиторы синтеза нуклеозидов, нуклеотидов, ДНК и РНК, мутагены и канцерогены, а также антимитотические препараты.

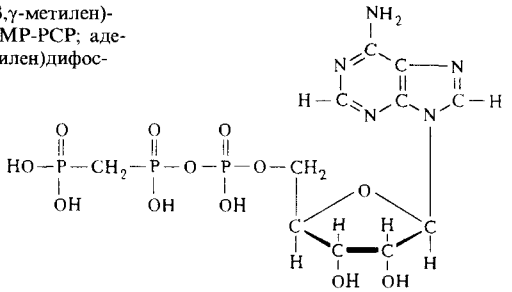
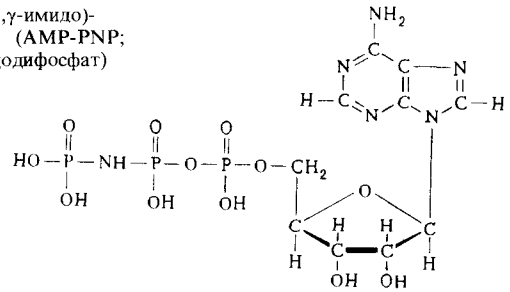
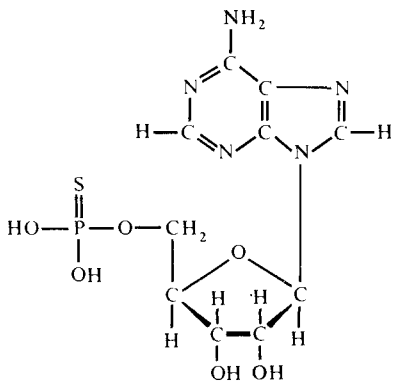
Литература

Пуриновые и пиримидиновые аналоги: Metabolic inhibitors, R. M. Hochster, J. H. Quastel (eds.), vol. 1, pp. 215, 239, Academic Press, New York, 1963.
Аналоги ATP: Adv. Enzymol. **43**, 1 (1975).
Нуклеозидные и нуклеотидные антибиотики: PNARMB **22**, 193 (1979).
Механизм действия ингибиторов синтеза ДНК: ARB **46**, 641 (1977).
Химические аспекты алкилирования нуклеиновых кислот и его связь с мутагенезом и канцерогенезом: PNARMB **15**, 219 (1975).
Химический канцерогенез: ARB **44**, 79 (1975).
Использование ингибиторов в исследовании механизмов действия гормонов в культуре клеток: Meth. Enzymol. **40**, 273 (1975).
Агенты, специфически действующие на клеточный цикл: BBA **458**, 243 (1976); **516**, 389 (1978).
The molecular basis of antibiotic action, 2-nd ed., E. F. Gale et al., Wiley-Interscience, London, 1981.
Antibiotics, vol. 1. Mechanism of action, D. Gottlieb, P. D. Shaw (eds.), Springer-Verlag, Berlin, 1967.
Antibiotics, vol. 3: Mechanism of action of antimicrobial and antitumour agents, J. W. Corcoran, F. E. Hahn (eds.), Springer-Verlag, Berlin, 1975.
Antibiotics, vol. 5, Mechanism of action of antieukaryotic and antiviral compounds, F. E. Hahn (ed.), Springer-Verlag, Berlin, 1979.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Аденозин-5′-O-(2-тиодифосфат) (ADP-β-S)	 *M* 443,2	Конкурентный ингибитор щелочной фосфатазы *E. coli*; K_i $6{,}6 \cdot 10^{-5}$ M. Субстрат полинуклеотидфосфорилазы (*Micrococcus lysodeikticus*). Переносится митохондриальной ATP/ADP-транслоказой. Не фосфорилируется при окислительном фосфорилировании, но является мощным ингибитором третьей ступени в дыхательной цепи, что указывает на специфическое связывание с ATP-синтезирующим комплексом. Li_3-соль $C_{10}H_{12}N_5O_9P_2SLi_3$: *M* 461,0.
Адриамицин	*См.* Дауномицин, где R = $COCH_2OH$ *M* 543,5	pK_a 8,22. Действие *см.* Дауномицин. Гидрохлорид: *M* 580,0; р. H_2O, MeOH.

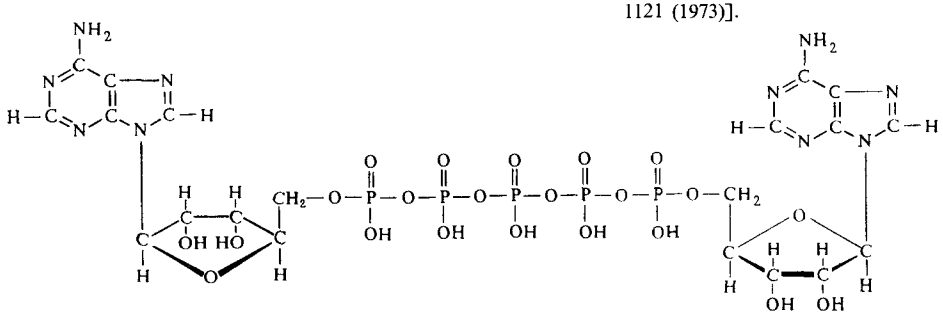
Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
8-Азагуанин (гуаназол; 5-амино-7-гидрокси-1-*v*-триазол[*d*]пиримидин)	 *M* 152,1	Бесцв. крист. Разл. >300. Раств-сть: р. разб. кисл. Аналог гуанина, включающийся в РНК; вызывает ошибки при трансляции мРНК в белок.
Азасерин (О-диазоацетил-L-серин)	 *M* 173,1	Ромб. крист. от св.-желт. до зелен. цвета из 90%-ного EtOH. $t_{разл}$ 146 ÷ ÷ 162. pK_a 8,55. ε 19730 при 250,5 нм. Раств-сть: х.р. H_2O; р. водн. EtOH; м.р. MeOH, EtOH, ац. Аналог глутамина, предотвращает, как и DON, перенос амидной гр. от глутамина к формилглицинамидриботиду при синтезе пуринов (необратимо инактивирует фосфорибозилформилглицинамидин-синтетазу путем ковалентного присоединения по —SH-гр.). Активен против некоторых типов *Clostridium*, *Mycobacterium tuberculosis* и *Rickettsiae*. Обладает также противоопухолевой активностью. Некоторые грибы, включая некоторые дрожжи, ингибируются этим соединением. Бактерии, выращиваемые на минимальной среде, проявляют большую чувствительность, чем растущие на богатой среде (для ингибирования *E. coli* требуется в тех и др. условиях 0,02 и 5,0 мкг/мл, а для *B. subtilis* – 1,0 и 6,6 мкг/мл). Водн. раств. наиболее уст. при pH 8, уст. резко падает при повышении или понижении pH, нейтр. водн. раств. можно нагрев. при 100°C в течение 5 мин.
Актиномицин	 актиномицин D D: *M* 1255,5	Красные крист. ε_{260} (pH 7) 24600. Хранить в сухом виде при −20°C в темн. Раств-сть: х.р. ац., бенз., $CHCl_3$, лед. укс. кисл.; р. Et-ацетате, MeOH, EtOH; м.р. эф., H_2O; н.р. петр. эф.; р. разб. минер. кисл.; н.р. щел. Ингибирует ДНК-зависимую РНК-полимеразу путем образования комплексов с ДНК через дезоксигуаниновые остатки. При более высоких конц. ингибирует ДНК-полимеразу. Ингибирует рост *S. aureus* при 0,25–0,75 мкг/мл, тогда как для ингибирования *E. coli* необходимо 100 мкг/мл из-за пониженной проницаемости. Активен в клетках млекопитающих – мощный противоопухолевый агент. Получ. в виде смеси с близкородственными соединениями, продуцирующимися в различных соотношениях штаммами *Streptomyces*. Многие актиномицины содержат одну и ту же хромофорную гр., но отличаются пептидными боковыми цепями. Актино-

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		мицин D – наиболее широко использ. препарат из семейства актиномицинов.
α-Аманитин	 *M* 903,0	Раств-сть: р. H_2O, MeOH, EtOH. Работа требует особых мер предосторожности – чрезвычайно опасное в-во; токсично при попадании в рот, на кожу, а также при вдыхании. Ингибирует эукариотическую РНК-полимеразу II (полимеразу B) при 10^{-8} – 10^{-9} M, полимеразу III (C) при 10^{-4} – 10^{-5} M, но не полимеразу I (A) и бактериальную полимеразу. Продуцируется грибом *Amanita phalloides*. См. обзор по токсинам *Amanita* [Critical Revs. in Biochem. **5**, 185 (1978)].
Аметоптерин (метотрексат; 4-амино-N^{10}-метилптероилглутаминовая кислота)	 R – остаток бензоилглутаминовой кислоты *M* 454,5	Желт. крист. $t_{пл}$ 185 ÷ 204. Раств-сть: р. разб. HCl. Антагонист фолиевой кисл. Обращает действие как самой фолиевой кисл., так и 5-формилтетрагидрофолиевой кисл. Ингибирует дигидрофолатредуктазу. Различные галогенопроизводные действуют аналогично [J. Pharmac. Exp. Ther. **128**, 419 (1960)]. Действие см. [BBA, **458**, 264 (1976)]. Использ. для контроля лейкемии; дозировать легче, чем аминоптерин. Механизмы, обусловливающие уст. к лекарству см. [Adv. Cancer Res. **7**, 192 (1963)].
Аминоптерин (4-аминоптероилглутаминовая кислота)	 R – остаток бензоилглутаминовой кислоты Гидрат + $2H_2O$: *M* 476,4 Безводн.: *M* 440,4	Желт. иглы. Раств-сть: р. водн. NaOH; м. р. H_2O . Антагонист фолиевой кисл., аналогичен по действию аметоптерину. Использ. для контроля лейкемии.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Аденозин-5′-(β,γ-метилен)-трифосфат (AMP-PCP; аденилил(β,γ-метилен)дифосфонат)	 *M* 505,2	Раств-сть: р. H_2O. Аналог ATP (—CH_2— вместо —O— между β- и γ-фосфатами). Использ. в исследованиях ATP-зависимых реакций; C—P-связь уст. к р-циям фосфорилирования и трансфосфорилирования. Гидрол. щелочной фосфатазой. Замещает ATP в атрактилозидчувствительном транспорте через митохондриальную мембрану. Не поддерживает транспорт Na^+, K^+ и предотвращает связывание уабаина с ($Na^+ + K^+$)-ATPазой. Может замещать ATP (30–50% активности ATP) в РНК-полимеразных системах. Ингибирует полинуклеотидфосфорилазу. Li_4-соль $C_{11}H_{14}N_5O_{12}P_3Li_4$: *M* 528,9; уст. при +4°C.
Аденозин-5′-(β,γ-имидо)-трифосфат (AMP-PNP; аденилилимидодифосфат)	 *M* 506,2 Li_4-соль: *M* 529,9 Na_4-соль + $4H_2O$: *M* 666,2	ε_{260} (pH 7) 15000. Раств-сть: р. H_2O. Аналог ATP (—NH— между β- и γ-фосфатами вместо O). Активно взаимодействует с тяжелым меромиозином, миозином и актомиозином. Мощный конкурентный ингибитор ATPазы тяжелого меромиозина. Фосфодиэстераза змеиного яда расщепляет AMP-PNP на AMP и имидодифосфат; щелочная фосфата (*E. coli*) расщепляет P—N-связь, давая ADP-NH_2 и P_i. Не гидрол. ATPазами, но превращается в цикло-AMP аденилатциклазой. AMP-PNP гидрол. в кисл. среде до соответствующего фосфоамида и P_i.
Аденозин-5′-O-тиофосфат (AMP-S)	 *M* 363,2 Li_2-соль: *M* 375,1	Субстрат и ингибитор ATP-зависимых ферментных систем [Biochem. **7**, 4023 (1968)].

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные

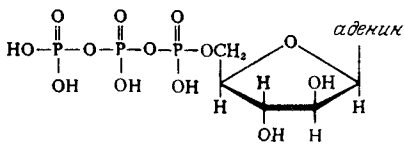
P^1, P^5-Бис(аденозин-5′)пентафосфат (Ap_5A)



M 916,4
Li_3-соль: *M* 934,2

Сильн. конкурентный ингибитор миокиназы (аденилаткиназы) [JBC **248**, 1121 (1973)].

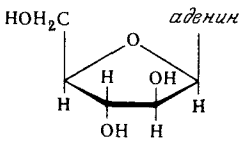
Аденин-β-D-арабинофуранозид-5′-трифосфат (AraATP)



M 507,2

Действует как терминатор цепи в синтезе ДНК – был использован при секвенировании ДНК вместо дидезоксинуклеозидтрифосфатов (см. [PNAS **74**, 5463 (1977)]. Однако некоторые ДНК-полимеразы способны удлинять цепи, оканчивающиеся на ara-нуклеотиды [J. Virol. **15**, 759 (1975)]. *См.* AraCTP.

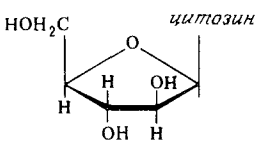
Арабинозиладенин (9-β-D-арабинофуранозиладенин; спонгоаденозин; видарабин; адеиинарабинозид; аденин-β-D-арабинофуранозид; AraA)



M 267,2

λ_{max} (pH 1) 257,5 нм, ε 13400; (pH 13) 259 нм ε 14000. $t_{пл}$ 257. Раств-сть: м. р. H_2O. Природный антибиотик; механизм действия *см.* Арабинозилцитозин. См. обзор нуклеозидных антибиотиков [PNARMB **22**, 193 (1979)]. Гидрат ($+ {}^1/_2$ H_2O): *M* 276,3.

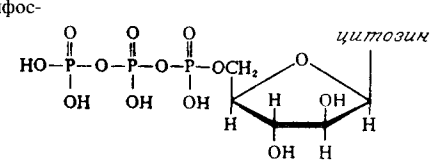
Арабинозилцитозин (1-β-D-арабинофуранозилцитозин; цитарабин; цитозин-β-D-арабинофуранозид; цитозинарабинозид; AraC)



M 243,2

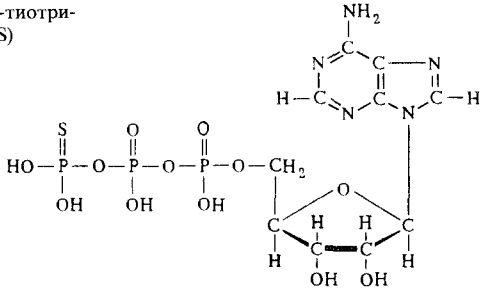
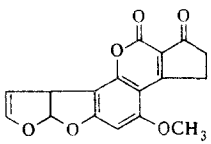
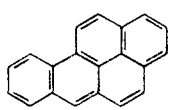
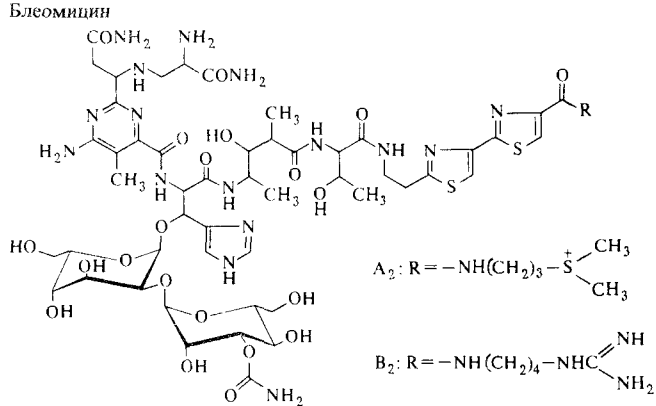
$t_{пл}$ 212 ÷ 213. λ_{max} (pH 2) 281, 212,5 нм (ε 13171, 10230); (pH 12) λ_{max} 272,5 нм (ε 9259). Селективно ингибирует синтез ДНК в клетках млекопитающих (L-клетки, 97% при $4 \cdot 10^{-7}$ М, синтез РНК не затрагивается); бактерии обычно нечувствительны. Трифосфат может действовать как конкурентный аналог dCTP, кроме того, его включение может замедлять удлинение цепи. См. обзор [PNARMB **22**, 193 (1979)].

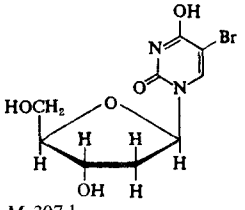
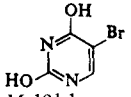
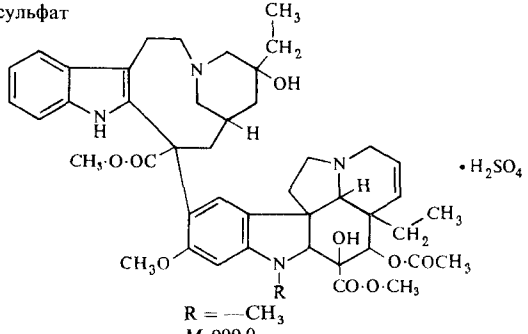
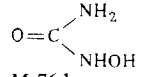
AraCTP (цитозин-β-D-арабиофуранозид-5′-трифосфат)

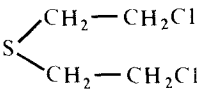
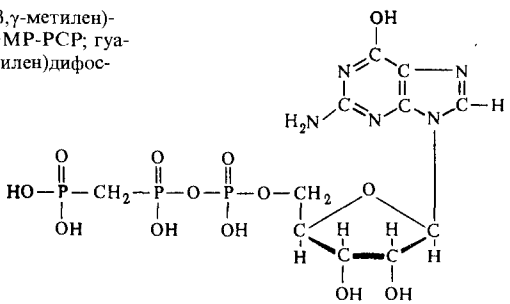
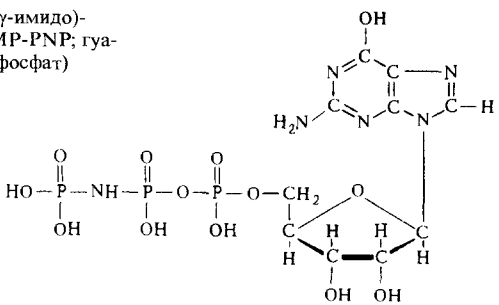


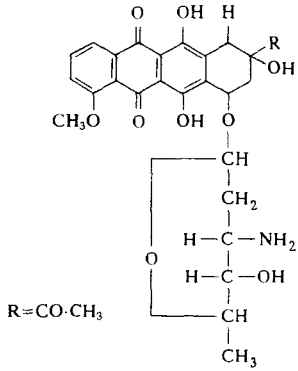
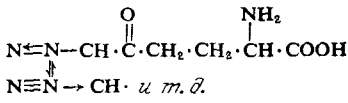
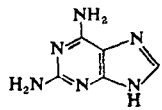
M 483,2
Ba-соль: *M* 618,5

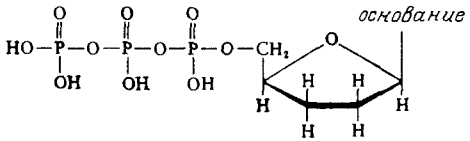
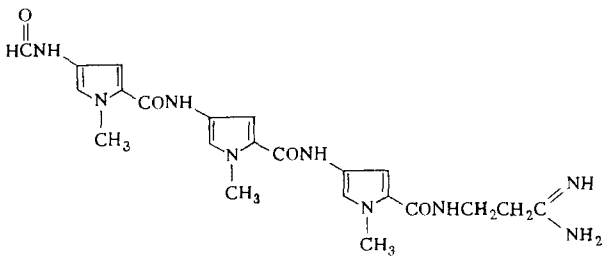
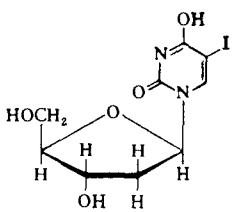
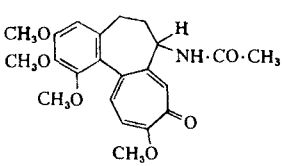
См. AraATP. По-прежнему использ. в секвенировании ДНК для разрешения некоторых неопределенностей в структуре, установленной дидезокси-методом [Meth. Enzymol. **65**, 568 (1980)].

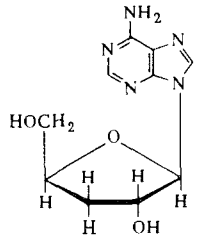
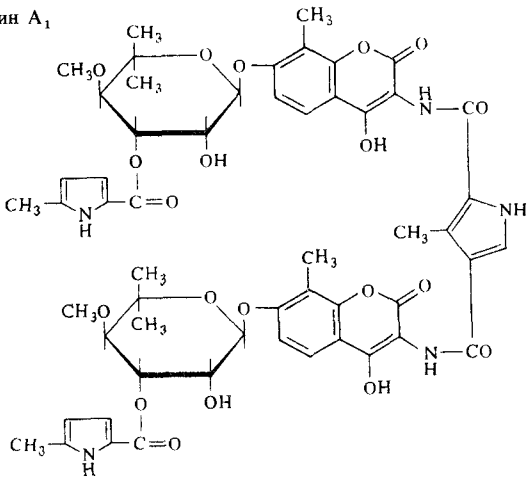
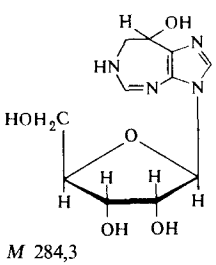
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Аденозин-5′-O-(3-тиотрифосфат) (ATP-γ-S)	 *M* 523,2 Li_4-соль: *M* 547,0	Ингибитор щелочной фосфатазы. Субстрат ДНК-зависимой РНК-полимеразы *E. coli* (K_m $3{,}8 \cdot 10^{-5}$ М). Гидрол. фосфодиэстеразой змеиного яда. Не реагирует с гексокиназой. Переносится митохондриальной ATP/ADP-транслоказой. Мощный ингибитор ATP-направляемого транспорта электронов.
Афлатоксин B_1	 *M* 312, 3	$t_{пл}$ 268 ÷ 269. λ_{max} (EtOH) 223, 265, 362 нм (ε 25600, 13400, 21800). *Осторожно!* Чрезвычайно токсичен, сильный канцероген. Один из нескольких афлатоксинов, продуцируемых *Aspergillus flavus*. Перерабатывается микросомальными системами печени, давая продукты, которые ковалентно связываются с ДНК [BBA, **585**, 134 (1979)].
3,4-Бензпирен	 *M* 252,3	Желт. пластинки и иглы. $t_{пл}$ 179. Флуоресценция: конц. H_2SO_4 *A* 521 нм (470 нм); *F* 548 нм (493 нм). Раств-сть: р. бенз., толуол, ксилол; ум. р. EtOH, MeOH; н. р. H_2O. Канцероген. Важным фактором в канцерогенезе полициклическими углеводородами является отн. скорость синтеза и разрушения канцерогенных промежуточных соединений [BBA **473**, 149 (1978)]. Гидроксилируется по положениям 5, 8 и 10. Некоторые метаболиты экскретируются в желчь.
Блеомицин	 A_2: *M* 1415,6 B_2: *M* 1425,5	Бесцв. или желт. порошок. pK_a 7,3; 4,7; 2,9. Раств-сть: х. р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. ац., эф. Семейство антибиотиков, различающихся концевыми R-группами. Ингибирует синтез ДНК больше, чем синтез РНК; создает одноцепочечные разрывы в ДНК in vivo и in vitro, чему способствуют восстановители и Fe^{2+}; требует присутствия O_2 и восстановителя. При 0,1 мкг/мл влияет на L-клетки. Получено много модифицированных блеомицинов; преп. обычно содержат Cu. Механизм. см. [BBRC **77**, 1150 (1977)]. См. обзор [PNARMB **20**, 21 (1977)]. Исправленную структуру см. [J. Antibiotics (Japan) **31**, 801 (1978)]. Механизм действия включает генерирование гидроксильных свободных радикалов, приводящее к расщеплению N-гликозидных связей

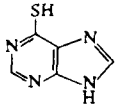
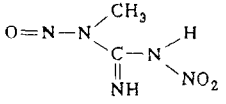
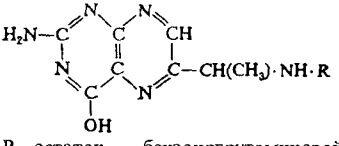
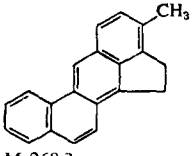
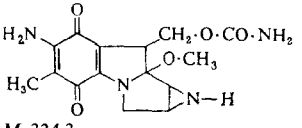
Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		и элиминированию основания (в основном Т), после чего расщепляется фосфодиэфирная связь. Стрептонигрин обладает аналогичным действием. См. обзор по блеомицину и близкородственному флеомицину [Antibiotics **5**, 124 (1979)].
5-Бромо-2′-дезоксиуридин	 *M* 307,1	λ_{max} (pH 2) 280 нм, ε 9250. pK_a 8,1. Раств-сть: р. H_2O. Аналог тимидина. *См.* 5-Бромоурацил.
5-Бромоурацил	 *M* 191,1	Раств-сть: р. H_2O. Аналог тимина. Мутаген (индуцирует транзиции GC → → AT). Маркер в исследованиях плавучей плотности ДНК. В результате анаболизма превращается в бромодезоксиуридиловую кисл. и в бромодезоксиуридинтрифосфат. Включается в ДНК, в составе которой (в некоторых организмах) может блокировать дальнейший синтез ДНК. Особ. чувствительны вирусы оспы.
Винбластинсульфат	 R = —CH_3 *M* 909,0 Винкристин: R = —CHO	Крист. $t_{пл}$ 284 ÷ 285. Раств-сть: р. H_2O. Антинеопластический алкалоид, выделенный из *Vinca rosea*, ингибирует кариокинез и секрецию. При $4{,}3 \cdot 10^{-7}$ М мешает организации микротрубочек. Влияет на транспорт лейцина, уридина, дезоксиглюкозы в культивируемых клетках в зависимости от их питания. При сывороточном голодании сильно стимулируется его поглощение; в быстро растущих клетках наблюдается небольшое снижение. Ингибирует синтез РНК. Эффекты труднообратимы. Винкристин обладает аналогичным антимикротрубочным действием, но иначе используется в клинической практике (винбластин для лечения болезни Ходжкина, а винкристин – лейкемии) [*Dustin P.*, Microtubules, Springer-Verlag, Berlin, 1978].
Гидроксимочевина (N-гидроксимочевина)	 *M* 76,1	Бел. крист. порошок. $t_{пл}$ 140. Раств-сть: х. р. H_2O. Специфический ингибитор синтеза ДНК in vivo; не влияет на синтез РНК и белка. Механизм действия, по-видимому, включает ингибирование синтеза дезоксирибонуклеоти-

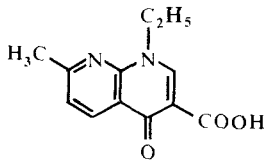
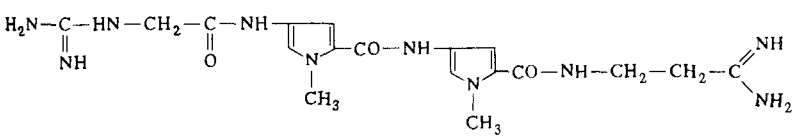
Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		дов из рибонуклеотидов; обладает антивирусным и антинеобластическим действием; вызывает разрыв хромосомы. Не ингибирует репарационный синтез ДНК. Действия обратимы.
Горчичный газ (иприт; бис(2-хлороэтил)сульфид; ди(β-хлороэтилсульфид)	 *M* 159,1	Бесцв. маслянистая жидк. или крист. $t_{пл}$ 13. Раств-сть: р. EtOH, эф., $CHCl_3$, бенз. Работа требует соблюдения особых мер предосторожности; в-во вызывает нарывы на коже. Противоопухолевый агент; поперечно сшивает и моноалкилирует ДНК; реагирует также с —SH-группой белков. Азотный «иприт» $NH(CH_2CH_2Cl)_2$ обладает аналогичным действием. См. обзор реагентов, алкилирующих ДНК, [PNARMB **15**, 219 (1975)].
Гуанозин-5′-(β,γ-метилен)-трифосфат (GMP-PCP; гуанилил(β,γ-метилен)дифосфонат)	 *M* 521,2 Li_4-соль: *M* 544,9 Na_4-соль (+1 H_2O): *M* 627,1	Аналог GTP (между β- и γ-фосфатами находится метиленовая группа —CH_2—). Использ. для исследования GTP-зависимых систем, как и AMP-PCP для ATP-зависимых систем. Конкурентный ингибитор GTP-зависимой р-ции (стадии транслокации) белкового синтеза. Менее эффективен, чем GTP-PNP (*см.*)
Гуанозин-5′-(β,γ-имидо)-трифосфат (GMP-PNP; гуанилилимидодифосфат)	 *M* 522,2 Li_4-соль: *M* 545,9 Na_4-соль + $2H_2O$: *M* 646,2	ε_{260} (pH 7) 11800. Аналог GTP (между β- и γ-фосфатами находится имидогруппа —NH—). Условия гидрол. такие же, как для AMP-PNP. Конкурентный ингибитор рибосомозависимой GTPазы, ингибирующий стадию транслокации в белковом синтезе.
Гуанозин-5′-O-(3-тиотрифосфат) (GTP-γ-S)	*См.* ATP-γ-S, где аденинoвый остаток замещен на гуаниновый *M* 539,2 Li_4-соль: *M* 563,0	Активация аденилциклазы см. [JBC **250**, 867 (1974)]. Гидрол. с гораздо меньшей скоростью, чем ATP, под действием миозинового фрагмента S-1 ATPазы.

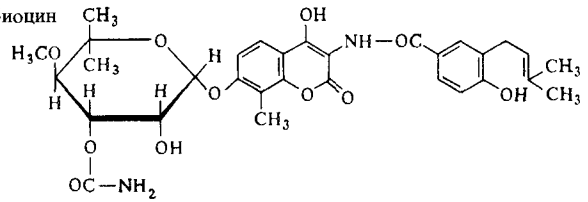
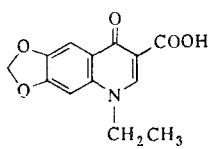
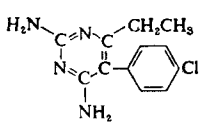
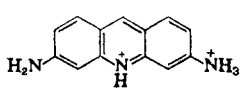
Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Дауномицин (рубомицин, даунорубицин)	 R=CO·CH$_3$ *M* 527,5	λ_{max} (MeOH) 234, 252 нм, $A^{1\%}_{1см}$ 665, 462. Раств-сть: гидрохлорид р. H_2O, MeOH; н. р. $CHCl_3$, эф. Красный раств. становится синим при щел. pH. Ингибирует синтез ДНК и РНК лишь в небольшой степени; цитотоксический противоопухолевый агент; интеркалирует в ДНК (но производные с низким сродством к ДНК также обладают антимитотическим действием [BBA **512**, 254 (1978)]). Хранить в тв. виде в темн. в эксикаторе при 4°C; раств. готовят в буферах непосредственно перед использ. [BBA **277**, 489 (1972)]. Адриамицин (*см.*) близок по структуре и действию. Дауномицин и адриамицин – ииаиболее известные из семейства антибиотиков, включающего также ноголамицин, цинерубин, родомицины и рубомицины. Гидрохлорид: *M* 563,5; красные крист.
6-Диазо-5-оксо-L-норлейцин (DON)	 (резонансные структуры) *M* 171,2	Св.-желт. крист. из разб. EtOH. $t_{разл}$ 145 ÷ 155; $A^{1\%}_{1см}$ 683 при 274 нм. Раств-сть: х. р. H_2O; р. водн. раств. MeOH, EtOH, ац.; м. р. абс. спиртах. Ингибирует синтез пуринов в бактериальных системах и системах млекопитающих. Аналог глутамина: мешает переносу амидной гр. от глутамина к формилглицинамидриботиду (фосфорибозилформилглицинамидин-синтетаза необратимо ингибируется). При высоких конц. ингибируются др. глутаминзависимые р-ции. Предотвращает рост искусственных опухолей, но токсичен для животных. Из 57 исследованных штаммов бактерий только 6 чувствительны к $\leqslant$ 12,5 мгк/мл, а из 104 исследованных видов грибов и дрожжей только 5 видов дрожжей ингибируются $\leqslant$ 50 мкг/мл. Водные раств. следует хранить при pH 4,5 ÷ 6,5. В-во быстро разл. в нейтр. водн. раств. при 100°C.
2,6-Диаминопурин	 *M* 150,2	$pK_a < 1$; 5,09; 10,77. Раств-сть: $0{,}24^{25}$, $0{,}59^{100}$ H_2O. Антагонист пуринов, особ. аденинсодержащих кофакторов р-ций C_1-переноса. Сульфат $(C_5H_6N_6)_2 \cdot H_2SO_4 \cdot H_2O$: *M* 416,4; бел. иглы.

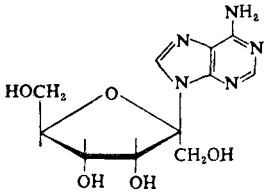
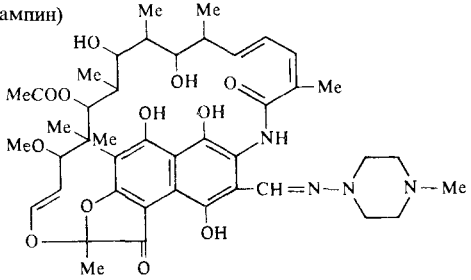
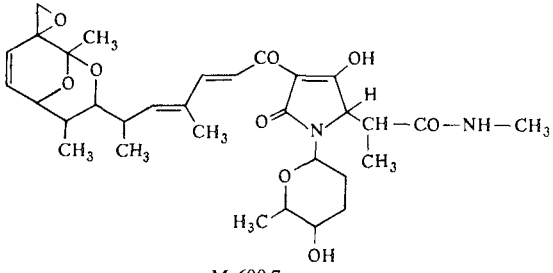
Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
2′,3′-Дидезоксирибонуклеозид-5′-трифосфаты		Действуют как терминаторы роста цепи при синтезе ДНК-полимеразой I *E. coli*. Использ. в секвенировании ДНК; такой подход приводит к лучшим результатам, чем «плюс–минус»-метод [PNAS **74**, 5463 (1977)]. Там же см. синтез.
2′,3′-Дидезоксиаденозин-5′-трифосфат (ddATP)	Основание – аденин *M* 475,2	
2′,3′-Дидезоксигуанозин-5′-трифосфат (ddGTP)	Основание – гуанин *M* 491,2	
2′,3′-Дидезокситимидин-5′-трифосфат (ddTTP)	Основание – тимин *M* 466,2 Na_4-соль + $3H_2O$: *M* 608,2	
2′,3′-Дидезоксицитидин-5′-трифосфат (ddCTP)	Основание – цитозин *M* 451,2	
Дистамицин А (сталлимицин)	 *M* 481,6 Гидрохлорид: *M* 518,1	λ_{max} (—HCl, в 0,02 М NaCl) 303, 237–238 нм (ε 34000, 29000). Раств-сть: р. H_2O. Ингибирует синтез ДНК и РНК; активен против ДНК-содержащих вирусов (при 100 мкг/мл предотвращает инфицирование *E. coli* вирусами Т-серии, не влияя на рост клеток хозяина); противоопухолевая активность. По действию аналогичен нетропсину (*см*). Водн. раств. разл. за несколько ч., давая желтую окраску. См. обзор [PNARMB **15**, 285 (1975)]. Связывается с A:T-участками двуспиральной ДНК. In vitro ингибирует различные ДНК- и РНК-полимеразы.
5-Иодо-2′-дезоксиуридин	 *M* 354,1	Бесцв. крист. λ_{max} (pH 2) 288 нм, ε 7770. Раств-сть: р. H_2O. Аналог тимина. Химиотерапия кератита простого герпеса.
Колхицин	 *M* 399,4	Св.-желт. порошок. Темнеет на свету. $t_{пл}$ 142 ÷ 150. Раств-сть: 4 H_2O; х.р. EtOH, $CHCl_3$; р. эф. Останавливает митоз (растения и животные); способствует выведению мочевой кислоты с мочой. Влияет на метафазу. При 10^{-8}–10^{-7} М мешает организации микротрубочек, особ. митотического веретена. Влияет на транспорт; *см.* Винбластин. Менее токсичен, чем цинхофен. Единственная соль – аурихлорид. Образует крист. соединения с $CHCl_3$, разл. при 60°C.

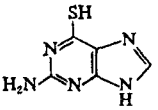
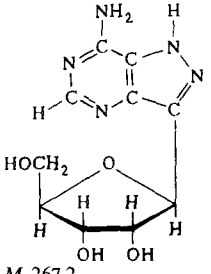
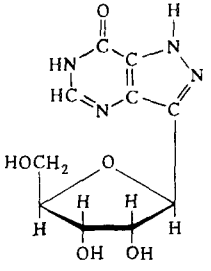
Соединение (синонимы)	Структура и молекуляриая масса	Свойства и другие данные
Кордицепин (3′-дезокси-аденозин)	 *M* 251,2 Моногидрат: *M* 269,2	λ_{max} (EtOH) 260 нм, ε 14600. Раств-сть: р. H_2O. Селективно ингибирует полиаденилирование гетерогенной ядерной РНК в клетках HeLa при 50 мкг/мл; ингибирует также синтез 45S рРНК; противоопухолевый, цитостатический агент для эукариотических клеток. Действие обращается аденозином, но не 2′-дезоксиаденозином. Природный антибиотик. См. обзор [PNARMB **22**, 193 (1979)].
Коумермицин A_1	 *M* 1110,1	При 0,3 мкг/мл ингибирует бактериальную ДНК-гиразу на > 90%. При 0,004 мкг/мл ингибирует рост *Staphylococcus aureus*. При 30 мкг/мл ингибирует синтез ДНК и РНК в *E. coli*. Обладает таким же действием, как новобиоцин (*см.*), но для ингибирования гиразы конц. последнего должна быть в 10 раз выше [PNAS **73**, 4474 (1976)]. Место действия на поверхности гиразы отличается от такового для налидиксовой кислоты (*см.*) [PNAS **74**, 4772 (1977)]. В структурных терминах это фактически димер новобиоцина. Реагирует с β-субъединицей гиразы [PNAS **75**, 4838 (1978); Science **207**, 953 (1980)]. Раств. Na-соли (40 мг/мл) в ДМСО уст. при −20°C.
Коформицин	 *M* 284,3	Чрезвычайно эффективный ингибитор аденозиндезамииазы, K_i $1 \cdot 10^{-11}$ М; также действует 2′-дезоксипроизводное (ковидарабин или пентостатин), K_i $2{,}5 \cdot 10^{-12}$ М. Усиливает действие формицина, арабинозиладенина и кордицепина, предотвращая дезаминирование. 2′-Дезоксиаденозин нетоксичен при низких конц., но в присутствии коформицина может стать токсичным для клеток, благодаря прочному связыванию коформицина эффект может сохраняться и после удаления свободного коформицина из среды. Др. ингибиторы такие, как *эритро*-9-(2-гидрокси-3-нонил)аденин, связываются менее прочно, K_i $1{,}6 \cdot 10^{-9}$ М [Biochem. Pharmacol. **26**, 359 (1977)]. См. обзор [PNARMB **22**, 193 (1978)].

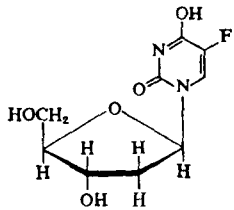
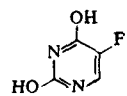
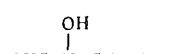
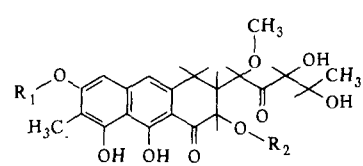
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
6-Меркаптопурин (пуринтиол; меркалейкин)	 *M* 152,2 Гидрат: *M* 170,2	Желт. призмы $+1H_2O$. Теряет крист. H_2O при 140°C. $t_{пл}$ 313–314 (разл.). Раств-сть: р. H_2O. Препятствует взаимопревращению пуринов; его нуклеозид-5′-трифосфат мешает синтезу NAD. Использ. в химиотерапии злокачественных опухолей, для лечения лейкемии.
N-Метил-N′-нитро-N-нитрозогуанидин (NNG; MNG; NTG; NG; MeNNG)	 *M* 147,1	Раств-сть: р. H_2O. Работа требует соблюдения чрезвычайных мер предосторожности. Один из наиболее мощных среди известных мутагенов; канцероген. Использ. для индуцирования мутаций у бактерий (описаны оптимальные условия для *E. coli* [BBRC **18**, 788 (1965)]. Обычно дает > 1 мутации на клетку. В тв. состоянии может разл., создавая взрывоопасное давление, поэтому при хранении в герметично закрытых контейнерах может приводить к взрывам. Др. методы мутагенеза с использ. 2-аминопурина, диэтилсульфата, 5-BrUdR, ICR191 и УФ-света описаны в [Meth Enzymol. **17A**, 1 (1970)]. Обзор алкилирующих ДНК реагентов см. [PNARMB **15**, 219 (1975)].
9-Метилфолиевая кислота	 R – остаток бензоилглутаминовой кислоты *M* 455,4	Антагонист фолиевой кисл. По-видимому, вызывает блокирование на уровне фолатредуктазы.
Метилхолантрен	 *M* 268,3	Св.-желт. крист. $t_{пл}$ 179 ÷ 180. Раств-сть: р. бенз., толуол, ксилен; м. р. амиловый спирт; н. р. H_2O. Канцероген. При работе следует избегать попадания на кожу (работать в перчатках и т. д.). Водорастворимое производное – метилхолантренхолевая кислота.
Митомицин С	 *M* 334,3	Пурпурные или глубоко-фиолетовые крист. $t_{пл}$ > 360 (разл.). Раств-сть: р. H_2O. Ингибирует синтез ДНК. Широкий спектр противоопухолевой активности и сильное бактерицидное действие против грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов и кислотоуст. бацилл. Митомицины – это гр. соединений, из которых митомицин С получил наиболее широкое

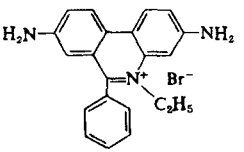
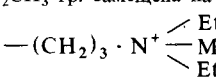
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		применение как наименее токсичное и обладающее наиболее сильной противоопухолевой активностью. В процессе метаболизма (или с дитионитом) этот антибиотик восстанавливается до производного гидрохинона, давая бифункциональный алкилирующий агент. Последний ковалентно сшивает цепи ДНК и ингибирует синтез ДНК. При 10 мкг/мл полн. ингибируется синтез ДНК в *E. coli*. Антибиотик уст. в водн. раств. при pH 6 ÷ 9; можно хранить при +5°C 1 нед. лишь с незначит. потерей активности. Легко разл. на свету.
Налидиксовая кислота (1-этил-1,4-дигидро-7-метил-4-оксо-1,8-нафтиридин-3-карбоновая кислота; NAL)	 *M* 232,2	$t_{пл}$ 229 ÷ 230. Раств-сть: м. р. H_2O; разб. щел.; о. п. р. EtOH, MeOH. Ингибирует субъединицу A бактериальной ДНК-гиразы; при 2 ÷ 10 мкг/мл ингибирует рост *E. coli*, при 50 мкг/мл ингибирует репликативный синтез ДНК в обработанных толуолом клетках, не влияет на репаративный синтез ДНК. Аналогичное действие на гиразу проявляет оксолиновая кислота (*см.*), но в 10 раз сильнее. Центр действия на гиразе отличается от центра действия коумермицина A_1 (*см.*) [PNAS **74**, 4772 (1977); Science **207**, 953 (1980)].
Нетропсин (конгоцидин)	 *M* 430,5 Дисульфат: *M* 626,7	λ_{max} (—HCl в 0,02 M NaCl) 295–296, 235 нм (ε 21000, 20000). Раств-сть: дисульфат м. р. H_2O (0,5 мг/мл при 25°C); н. р. орг. раств-лях. Ингибирует синтез ДНК и РНК; при ~ 10 мкг/мл ингибирует рост *E. coli*. Связывается с A–T-богатыми участками двуспиральной ДНК (не интеркалирует) со смещением спектра (296 → 325 нм). Водн. раств. при 4°C уст. 3 сут. По действию аналогичен дистамицину (*см.*). См. обзор [PNARMB **15**, 285 (1975)].

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Новобиоцин	 *M* 612,6 Na-соль: *M* 634,6	Желт. крист. pK_a 4,3; 9,1. λ_{max} (0,1 M NaOH) 307 нм, $A^{1\%}_{1\,см}$ 600; (0,1 M MeOH – HCl) 324 нм, $A^{1\%}_{1\,см}$ 390; (pH 7, фосфатный буфер) $A^{1\%}_{1\,см}$ 350. Раств-сть: н. р. кисл.; р. > pH 7,5; р. орг. растворителях; Na-соль р. H_2O, ац., MeOH, EtOH. Ингибирует бактериальную ДНК-гиразу [PNAS **73**, 4474 (1976)]; при 20 мкМ ингибирует рост *E. coli* на 50%; in vivo ингибирует репликативный, но не репаративный синтез ДНК, а также синтез РНК; in vitro при 1 мкг/мл ингибирует репликативный синтез ДНК на 90%, а при еще меньшей конц. также синтез РНК. Раств. при 4°C уст. длительное время; при 25°C разл. на 50% за 30 сут. Центр действия на ДНК-гиразе отличается от центров действия налидиксовой и оксолиновой кисл. (*см.*) [PNAS 74, 4772 (1977)]. Коумермицин – фактически димер новобиоцина. Механизм действия и литературу *см.* Коумермицин.
Оксолиновая кислота (1-этил-6,7-метилендиокси-4-хинолон-3-карбоновая кислота)	 *M* 261,2	Раств-сть: р. разб. KOH. Ингибирует субъединицу A ДНК-гиразы в 10 раз более эффективно, чем налидиксовая кислота (*см.*). Центр действия на гиразе отличается от центра действия коумермицина A_1 и новобиоцина (*см.*) [PNAS **74**, 4772 (1977); Science **207**, 953 (1980)].
Пириметамин (2,4-диамино-5-*п*-хлорофенил-6-этилпиримидин)	 *M* 248,7	Крист. Раств-сть: м. р. EtOH; н. р. H_2O. Антагонист фолиевой кисл. Обладает антималярийной активностью и использ. для контроля токсоплазмоза.
Профлавин (3,6-диаминоакридин)	 *M* 209,3 Дигидрохлорид + $2H_2O$: *M* 318,2 Сульфат: *M* 307,3	Оранж.-красные крист. pK_a 9,65. Раств-сть: гидрохлорид р. H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. $CHCl_3$, эф. Мутаген (для *E. coli* при ~ 4 мкг/мл); интеркалирует в двуспиральную ДНК и ингибирует синтез ДНК in vivo больше, чем синтез РНК. Селективно действует на внехромосомную ДНК, избавляет клетки от плазмид, селективно влияет на кинетопласты трипаносом и митохондриальную ДНК дрожжей, давая дефицитные по дыханию дрожжи. Связывание с ДНК тушит флуоресценцию антибиотика. 0,1% раств. гидрохлорида – кислота; раств. неуст. на свету (мутнеет). Акрифлавин – смесь профлавина и производного 10-метилакридинийхлорида.

Соединение (синонимы)	Структура и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Псикофуранин (6-амино-9-D-псикофуранозилпурин)	 *M* 296,3	Иглоподобные крист. $t_{пл}$ 212 ÷ 214 (разл.). Ингибирует синтез пурина; наряду с антибактериальным обладает противоопухолевым действием. Структурный аналог аденозина; действует путем ингибирования процесса превращения ксантозин-5′-фосфата (XMP) в GMP XMP-аминазой. Ингибирование роста *S. aureus* антибиотиком может быть обращено гуанином, гуанозином и GMP. Ингибирование неконкурентное по отношению к аденозину, но действует на нуклеозидном уровне, по-видимому, путем аллостерического ингибирования. См. обзор [PNARMB **22**, 193 (1979)].
Рифампицин (рифампин)	 *M* 823,0	pK_a 1,7; 7,9. λ_{max} (pH 7,4) 237, 255, 334, 475 нм (ε 33200, 32100, 27000, 15400). Раств-сть: о. п. р. H_2O; х. р. диметилсульфоксид; м. р. MeOH. Полусинтетическое производное рифамицина B; при о. низких конц. (0,01 мкг/мл) ингибирует транскрипцию в бактериях. Не действует на РНК-полимеразы эукариот даже при содержании в 10000 раз превышающем уровень, необходимый для ингибирования бактериального фермента (ферменты митохондрий и хлоропластов могут ингибироваться при 1 мкг/мл). Связывается с β-субъединицей бактериальной РНК-полимеразы и ингибирует инициацию цепи, если элонгация цепи еще не началась. Стрептоварицин близок по структуре и аналогичен по действию, но необходима более высокая конц. (> 20 мкг/мл). Сухой рифампицин уст. при 4°C в отсутствие света.
Стрептолидигин (портамицин)	 *M* 600,7 Na-соль: *M* 622,7	λ_{max} (0,01 M KOH–EtOH) 261, 291, 336 нм ($A^{1\%}_{1\,см}$ 223,6, 270,7, 331,0). Раств-сть: р. EtOH, эф., $CHCl_3$; о. п. р. H_2O; Na-соль р. H_2O, орг. раств-лях, кроме углеводородов. Ингибирует синтез РНК (в *Bacillus megaterium* при $1{,}4 \cdot 10^{-4}$ M на 80%); связывается с бактериальной РНК-полимеразой и ингибирует полимеризацию цепи, но не инициацию (*ср.* Рифампицин; действие противоположное: рифампицин ингибирует синтез РНК при конц. в 100 раз ниже).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
6-Тиогуанин (2-амино-6-меркаптопурин)	 *M* 167,2	Бесцв. иглы. Раств-сть: р. разб. щел.; о. п. р. EtOH; н. р. H_2O, $CHCl_3$. Включается в ДНК и в меньшей степени в РНК. После включения ингибирует синтез ДНК. Ингибирует рост неоплазмы (новообразований) и микроорганизмов.
Тиоурацил (2-меркапто-4-гидроксипиримидин)	 *M* 128,2	Бесцв. призмы. $t_{пл}$ 340 (разл.). Раств-сть: р. щел.; 0,06 H_2O; о. п. р. EtOH, эф., кисл. Аналог урацила. Включается в РНК, но не в ДНК. Вызывает ошибки при трансляции мРНК в белок.
2-Фенилэтанол (фенетиловый спирт)	$C_6H_5CH_2CH_2OH$ *M* 122,2	Бесцв. жидк. $t_{кип}$ 219 ÷ 221. Раств-сть: р. EtOH, эф.; $1{,}6^{20}$ H_2O. При 0,25% ингибирует синтез ДНК, не затрагивая синтез РНК и белка; при более высоких конц. ингибирует синтез белка и РНК и прекращает рост клеток. Бактериостатик для о. многих бактерий (исключая *Streptococci*); грамотрицательные бактерии чувствительны к 0,27%, грамположительные к 0,5%.
Формицин А (формицин; 8-аза-9-деазааденозин)	 *M* 267,2	Раств-сть: р. H_2O, MeOH; м. р. EtOH; н. р. эф., ац. Ингибирует de novo биосинтез пуринов в опухолевых клетках; включается в РНК; мешает нормальному процессингу 4S тРНК, по-видимому, путем индуцирования аномального расщепления предшественника. В эритроцитах быстро дезаминируется до формицина В.
Формицин В (8-аза-9-деазаинозин)	 *M* 268,2	Раств-сть: р. H_2O; о. п. р. орг. раств-ли. Конкурентный ингибитор NAD в поли(ADP-рибозо)полимеразе; при 16 мкМ ингибирует рост опухолевых клеток на 50%. Ингибирует пуриннуклеозидфосфорилазу; не субстрат. См. обзор [PNARMB **22**, 193 (1979)].

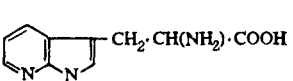
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
5-Фтородезоксиуридин (5-фторо-2′-дезоксиуридин)	 *M* 246,2	Бел. крист. pK_a 7,6. Раств-сть: р. H_2O. Ингибирует синтез ДНК путем блокирования тимидилатсинтетазы при метаболизме фтородезоксиуридиловой кисл. Тимидилатсинтетаза – фермент-мишень противоопухолевой химиотерапии; см. обзор [BBA **473**, 73 (1977)].
5-Фтороурацил (5-фторо-2,4-дигидроксипиримидин)	 *M* 130,1	Бел. порошок. $t_{пл}$ 282–283 (разл.). pK_a 8,0. Раств-сть: р. H_2O. В результате метаболизма превращается во фтородезоксиуридиловую кисл., которая ингибирует тимидилатсинтетазу, и во фтороуридинтрифосфат, который включается в РНК вместо UTP. Ингибирует синтез ДНК; вызывает ошибки при трансляции мРНК в белок; вызывает мутацин-транзиции в РНК-организмах. Использ. в противоопухолевой химиотерапии.
Хадацидин (N-формилгидроксиаминоуксусная кислота)	 *M* 119,1	Свободная кислота: неуст. крист. $t_{пл}$ 119 ÷ 120. pK_a 3,5; 9,1. Na-соль: крист. разл. 205–210. Раств-сть: крист. кислота р. H_2O, MeOH, EtOH, ац., эф. Na-соль р. H_2O, MeOH; и. р. EtOH. Ингибирует биосинтез пуринов у млекопитающих и бактерий. Ингибирует рост человеческой аденокарциномы-1 в куриных эмбрионах. Останавливает биосинтез AMP и dAMP: действует как аналог L-аспартата, который может обращать ингибирование. Действует путем ингибирования аденилосукцинат-синтетазы, участвует в превращении IMP в аденилянтарную кисл.; эффективный конкурент аспарагиновой кисл. [JBC **237**, 1932, 1937 (1962)]. Свободная кисл. неуст. и в раств. гидрол. до муравьиной и гидроксиаминоуксусной кисл.
Хромомицин A_3 (тойомицин)	 R_1 и R_2 – остатки ди- и трисахаридов *M* 1183,3	Желт. порошок. Раств-сть: х. р. H_2O, MeOH. Ингибирует синтез РНК > > ДНК (в клетках млекопитающих при 100 мкг/мл и 10 мкг/мл ингибирует синтез РНК на 55% и 30%; при этом синтез ДНК не затрагивается; в *B. subtilis* при 0,1 мкг/мл ингибирует синтез и РНК, и ДНК на ~ 75%). Связывается с G:C-парами двуспиральной, ДНК, не интеркалирует. Митрамицин (содержит др. сахара) и оливомицин (содержит др. сахара и слегка модифицированную хромофорную гр.) обладают аналогичным действием. См. обзор [ARB **40**, 775 (1971)].

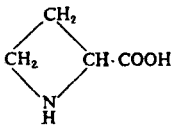
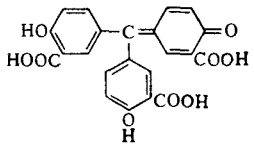
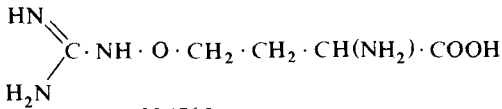
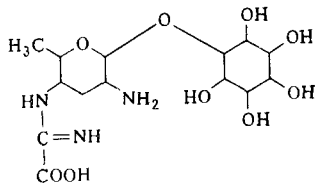
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Этидийбромид (2,7-диамино-10-этил-9-фенилфенантридинийбромид; хомидийбромид)	 *M* 394,3	Темно-красные крист. или порошок. $t_{пл}$ 247 ÷ 249. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, MeOH. Мощный ингибитор синтеза ДНК in vivo; ингибирует синтез ДНК ДНК-полимеразой и синтез РНК ДНК-зависимой РНК-полимеразой в бесклеточных системах. Интеркалирует в ДНК (связывание усиливает флуоресцеицию; удобно использ. для прокрашивания ДНК). Обращает суперскручивание кольцевой ДНК. Избирательно влияет на экстракцию ДНК (бактериальные плазмиды, кинетопласты трипаносом, митохондриальиая ДНК дрожжей). «Излечивает» бактерии от плазмид. Пропидийбромид (—CH_2CH_3 гр. замещена на  обнаруживает аналогичные свойства иитеркалятора [Antibiotics **3**, 141 (1975)]. См. обзор по использ. интеркалирующих агентов для зондирования структуры хроматина [Meth. Cell. Biol. **18**, 351 (1978)]. *Осторожно!* Этидийбромид – мощный мутаген; работа требует применения особых мер предосторожности.

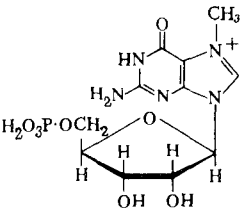
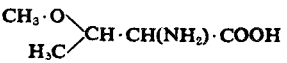
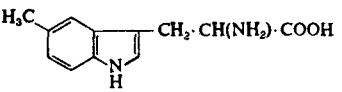
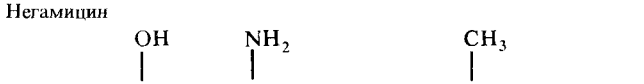
Б. Ингибиторы синтеза белка и аналоги аминокислот

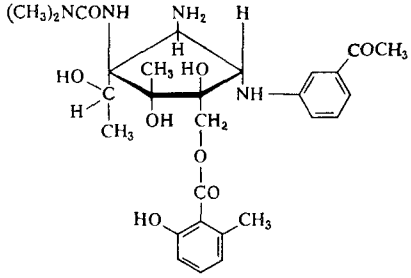
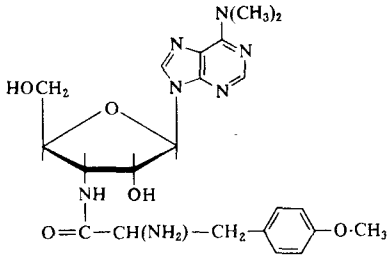
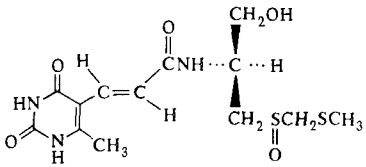
Литература

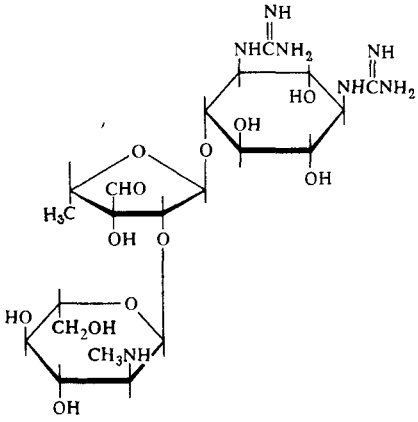
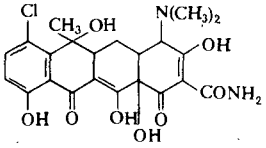
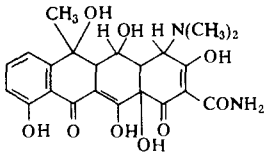
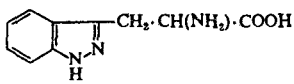
Vázquez D., Inhibitors of protein biosynthesis. Molecular Biology and Biophysics 30, Springer-Verlag, Berlin, 1978.
Antibiotics 3, Concoran J. W., Hahn F. E. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, 1975.
FEBS Letts, **40**, S63 (1974).
Metabolic inhibitors, R. M. Hochster, M. Kates, J. H. Quastel (eds.), vol 4, p. 107, Academic Press, 1973.

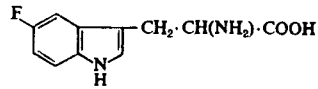
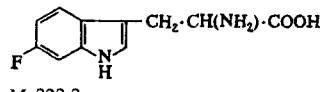
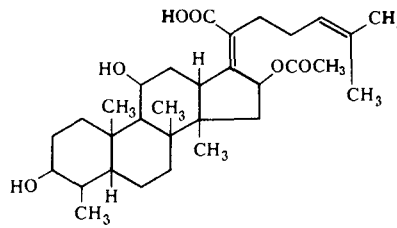
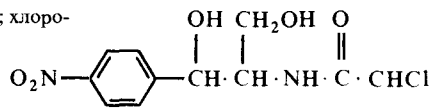
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
7-Азатриптофан (α-амино-β-(7-аза-3-индолил)пропионовая кислота)	 *M* 205,2 Гидрат: *M* 223,2	Пушистые иглы. $t_{пл}$ гидрата 257 ÷ ÷ 259 (разл.). Раств-сть: о.п.р. H_2O; м.р. кисл. Аналог триптофана. Ингибирует размножение фагов в *E. coli*. Включается в бактериальный белок и белок оболочки фага. Может активироваться панкреатическим триптофанактивирующим ферментом.

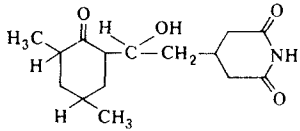
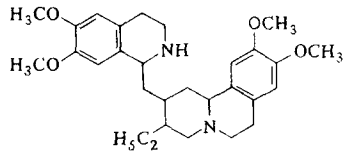
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Азетидин-2-карбоновая кислота	 *M* 101,1	Бесцв. крист. Темиеет > 200 (разл.). Раств-сть: х.р. H_2O. Аналог пролина. Может замещать пролин в белках *E. coli* и бобов маша (*Phaseolus aureus*).
α-Амино-β-хлормасляная кислота	$CH_3CH(Cl)CH(NH_2)COOH$ *M* 137,6	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 246 (разл.). Раств-сть: м.р. H_2O; р. кисл. Аиалог валина. Ингибирует включение валина в гемоглобин. Конкуреитный ингибитор валинактивирующего фермеита.
Ауринтрикарбоновая кислота	 *M* 422,4	При низких конц. (50–100 мкМ) специфический ингибитор инициации синтеза белка, при более высоких конц. влияет на элонгацию [ABB **183**, 228 (1977)]. Сообщается и о др. действиях; при 3–5 мкг/мл ингибирует РНК-полимеразы из печеии крыс (более эффективен при добавлении в начале реакции). При 100 мкМ ингибирует сиитез ДНК в проницаемых асцитных клетках на 90%, при 10 мкМ ингибирует очищенную ДНК-полимеразу. При 10 мкМ ингибирует РНК-полимеразу *E. coli*, по-видимому, путем блокирования инициации синтеза. Предполагается, что ауринтрикарбоновая кисл. действует на все белки, связывающиеся с нуклеиновыми кислотами: синтез белка блокируется путем иигибирования связывания мРНК с малой субъединицей рибосомы. См. литературу в [BBRC **79**, 179 (1977)].
Канаванин (α-амино-γ-гуанидиноокси-*н*-масляная кислота)	 *M* 176,2	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 184 (разл.). pK_a 2,50 (COOH); 6,60 (гуанидииокси); 9,25 (α-NH_2). Раств-сть: х.р. H_2O. Аналог аргинина. Ингибирует рост некоторых штаммов *S. aureus* и *E.coli*. Может включаться в белки саркокарциномы Уолкера и *S. aureus*. Служит субстратом большинства ферментов, обычно действующих иа аргинин.
Касугамицин	 *M* 379,4 Сульфат + $^1/_2H_2SO_4$: *M* 428,4	Сульфат: бел. крист. Раств-сть: сульфат р. H_2O; м.р. EtOH. Ингибирует синтез белка в бактериях. Антигрибковый агент при pH 4–5. В бесклеточной системе *E. coli* синтез белка на f2мРНК ингибируется на 95% при $2 \cdot 10^{-4}$ М [BBRC **43**, 196 (1971)]. Взаимодействует с 30S-субъединицей и предотвращает связывание fMet-тРНК и т. обр. инициацию синтеза белка. Не вызывает ошибок считыва-

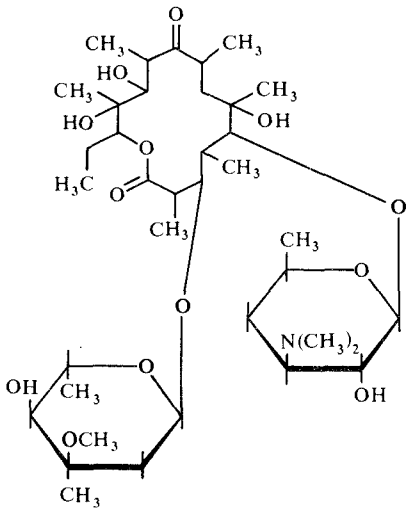
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		ния. Сообщается об ингибировании синтеза белка в эукариотической бесклеточной системе, хотя большинство эукариотических клеток нечувствительно к этому агенту. Почти все исследования проведены в прокариотических системах.
7-Метилгуаиозин-5′-монофосфат (m^7G^5p)	 *M* 377,3	Ингибирует трансляцию мРНК, содержащую $m^7G(5)$— на 5′-коице. При ~ 0,25 мМ препятствует взаимодействию мРНК с 40S-субъединицей рибосомы. Полн. ингибирует трансляцию глобиновой мРНК кролика в системе проростков пшеницы [PNAS **73,** 19 (1976)].
ω-Метиллизин (α,ε-диаминогептановая кислота; ε-С-метиллизин)	$CH_3CH(NH_2)(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$ *M* 160,2	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 191 (как ди-HCl). Раств-сть: р. H_2O. Аналог лизина. Ингибирует рост *S. faecalis* и *L. mesenteroides;* лизин подавляет ингибирование. Включается вместо лизина в клеточные стенки *S. aureus.*
О-Метилтреонин	 *M* 133,2	Бесцв. крист. Раств-сть: р. H_2O. Аналог изолейцина. Конкурентно ингибирует включение лейцина в клетки асцитной опухоли Эрлиха. *алло*-О-Метилтреонин неактивен.
5-Метилтриптофан	 *M* 218,3	Бесцв. листочки $t_{пл}$ 264 (разл.). Раств-сть: м.р. H_2O; р. кисл. Аналог триптофана. Не включается в белок. Конкурентно ингибирует триптофанактивирующий фермент в печени и бактериях, но сам не активизируется. Ингибирует синтез антраниловой кисл. из 5′-фосфорилированной шикимовой кисл. и глутамата в *E. coli* путем «ложного» обратного ингибирования. Полн. ингибирует фаговый синтез.
Негамицин	 *M* 248,3	pK_a 3,55; 8,1; 9,75. $t_{пл.}$ 110 (разл.). Раств-сть: р. H_2O; н.р. орг. раств-ли. Ингибитор синтеза белка в бактериях, вызывает ошибки считывания (последнее характерно только для антибиотиков, не содержащих аминосахара). Обладает бактерицидными свойствами и эффективен, в числе прочих, против *Pseudomonas* и грамотрицательных бактерий, устойчивых ко многим антибиотикам. Может селективно ингибировать терминацию цепей [BBA **442,** 251 (1976)], а также оказывать разнообразные воздействия на рибосому.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Норлейцин (α-аминокапроновая кислота)	$CH_3(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$ *M* 131,2	Бесцв. листочки. $t_{пл}$ 301 (разл.). pK_a 2,39; 9,76. Раств-сть: р. H_2O. Аналог метионина. Может включаться в белок *E. coli* вместо метионина. Конкурентно ингибирует активацию метионина в *E. coli*.
Пактамицин	 *M* 558,6	Раств-сть: р. EtOH, $CHCl_3$, разб. кисл. и щел. Ингибирует синтез белка в бактериях и др. прокариотах. Ингибирует инициацию, но не влияет на элонгацию, так как не предотвращает разрушения полисом [BBA **294,** 118, (1973)]. При 10^{-4} М на 88% ингибирует синтез белка в ретикулоцитах. Неуст.
Пуромицин (стиломицин)	 *M* 471,5	Бел. крист. $t_{пл}$ 175 ÷ 177. pK_a 6,8; 7,2. Раств-сть: свободное основание ум.р. H_2O, орг. раств-ли; дигидрохлорид и моносульфат легко р. H_2O. Ингибирует синтез белка. Предотвращает рост бактерий, морских водорослей, простейших и клеток млекопитающих. Вызывает преждевременное освобождение частично образовавшихся белковых цепей из рибосом, действуя как аналог акцепторной аминоацил-тРНК.
Селеиометионин	$CH_3Se(CH_2)_2CH(NH_2)COOH$ *M* 196,1	Бесцв. крист. Раств-сть: р. H_2O. Аналог метионина. Может полн. замещать метионин в белках *E. coli*. Найден также в белках животных, пасущихся на пастбищах, богатых соединениями Se.
Спарсомицин	 *M* 361,4	Один из наиболее эффективных ингибиторов синтеза белка в прокариотах и эукариотах; широко использ. как биохимический инструмент исследований. Ингибирует образование пептидной связи, действуя, вероятно, как акцепторный центр на большой субъединице рибосомы. Не действует на интактные ретикулоциты, даже при высоких конц., но в бесклеточных системах при $0{,}8 \cdot 10^{-7}$ М ингибирует на 84% [BBA **119,** 109 (1966)]. Для бактериальных полисом K_i пептидилпуромицинового синтеза составляет $2 \cdot 10^{-7}$ М, а для полисом печени крыс 10^{-6} М.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Стрептомицин	 *M* 581,6 (Стрептомицин)$_2 \cdot 3H_2SO_4$: *M* 1457,4	Основание, сульфат и гидрохлорид – все гигроскопичные бел. порошки. Раств-сть: р. H_2O; сульфат х. р. H_2O; н. р. EtOH. Ингибирует инициацию, элонгацию и терминацию синтеза белка в прокариотах и вызывает ошибки считывания. Связывается с малой субъединицей рибосомы. В *E. coli* при > 20 мкг/мл полн. ингибирует синтез белка. Низкие коиц. (2 мкг/мл) вызывают фенотипическую супрессию мутаций из-за неправильного считывания. Родственные аминогликозидные антибиотики (канамицин и иеомицин) также вызывают ошибки считывания. Стрептомицинсульфат использ. для осаждения иуклеиновых кисл. при очистке фермеитов.
Тетрациклиновые антибиотики Хлортетрациклин (ауреомицин)	 *M* 478,9 Гидрохлорид: *M* 515,4	Желт. крист. λ_{max} (0,1 М HCl) 230, 262,5 и 367,5 нм. Раств-сть: м. р. H_2O (0,5 мг/мл); х. р. pH > 8,5; гидрохлорид: р. H_2O (8,6 мг/мл), MeOH. Ингибиторы синтеза белка в прокариотах и эукариотах; избирательно действуют на бактерии; имеют терапевтическое значение. В бесклеточной системе *E. coli* при 30 мкМ, а в печени крысы при 125 мкМ хлортетрациклин ингибирует синтез белка иа 50%. Ингибирует связывание аминоацил-тРНК с рибосомами [JBC **244,** 5680 (1969)]. Рибосомальный синтез (р)ppGpp ингибируется в бактериях.
Окситетрациклин (террамицин)	 *M* 460,4 Дигидрат: *M* 496,4 Гидрохлорид: *M* 496,9	Дигидрат: крист. из H_2O. Гидрохлорид: желт. крист. из H_2O; λ_{max} (0,1 М фосфат, pH 4,5) 249, 276 и 353 нм ($A^{1\%}_{1см}$ 240, 322 и 301). Раств-сть: р. H_2O (1,1 мг/мл, pH 7; 39,6, pH 9); р. EtOH. Гидрохлорид: х. р. H_2O (1 г/мл). Водн. раств. гидрохлорида уст. 4 нед. (pH 3–9 при 5°C).
Триптазан (α-амино-β-(3-индазол)пропионовая кислота)	 *M* 205,2	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 249 ÷ 250 (разл.). Раств-сть: м. р. H_2O; р. кисл. Аналог триптофана. Включается в белки *E. coli* вместо триптофана. Может быть активирован панкреатическим триптофанактивирующим ферментом.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Фториды (натрия, калия)	NaF; KF	KF или NaF ингибирует трансляцию в клетках млекопитающих и в бесклеточных системах. При 30 мМ KF ингибирует инициацию синтеза белка в лизатах ретикулоцитов, при этом лишь незначительно влияет иа элоигацию цепи [JBC **250,** 3443 (1971)]. Предполагается, что фторид препятствует присоединению 60S-субъединицы к 40S-инициаториому комплексу. Нет сведений об аналогичном действии в прокариотах.
5-Фторотриптофан	 *M* 222,2	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 264 ÷ 265 (разл.). Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. кисл., щел. Аналог триптофана. По-видимому, ингибирует ту же реакцию, что и 6-фторотриптофаи (*см.*). Может быть активирован панкреатическим триптофанактивирующим ферментом.
6-Фторотриптофан	 *M* 222,2	Бесцв. крист. Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. кисл., щел. Аналог триптофаиа. Ингибирует синтез N-*о*-карбоксифенил-D-рибозиламин-1-фосфата из антраниловой кисл. и фосфорибозилдифосфата в процессе биосиитеза триптофана. Может быть активирован панкреатическим триптофанактивирующим ферментом.
Фузидиевая кислота	 *M* 516,7	pK_a 5,35. λ_{max} 204 нм (ε 9900). Раствсть: м. р. H_2O; р. EtOH, ац., $CHCl_3$. Иигибирует синтез белка в бактериях, бактериальных лизатах, лизатах клеток эукариот (но ие в интактных клетках, возможно, из-за их непроницаемости). В бесклеточной системе *E. coli* при ~ 0,2 мМ ингибирует иа 60%. Образует устойчнвый комплекс фузидиевая кислота – GDP – рибосома – EFG (или EF_2); предотвращает связывание аминоацил-тРНК. Имеются сообщения об ингибировании транслокации в бесклеточных системах в результате связывания всего имеющегося EFG или EF_2, а ие из-за ингибирования р-ции транслокации [EJB **57,** 431 (1975)].
Хлорамфеникол (CAP; хлоромицетин)	 *M* 323,1	Желт. порошок. Раств-сть: 0,25 H_2O; х. р. MeOH, EtOH. Ингибирует синтез бактериальных белков путем блокирования пептидилтрансферазной р-ции [JMB **28,** 161 (1967)]. Ингибирует синтез митохондриальных и хлоропластных белков. Необратимая токсичность для клеток животных и человека при очень высоких конц., воз-

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		можно, из-за ингибирования синтеза ДНК [Molec. Pharm. **13,** 504 (1977)]. Хлорамфеникол ингибирует образование (p)ppGpp при участии рибосом, дерепрессируя тем самым транскрипцию рРНК, что приводит к накоплению РНК.
Циклогексимид (актидион)	 *M* 281,3	Крист. Раств-сть: р. H_2O, $CHCl_3$, EtOH, MeOH. Ингибирует синтез цитоплазматического белка эукариот, но не прокариот. В бесклеточной системе из печени при 1 мг/мл ингибирует на 75%, в интактных ретикулоцитах при 0,03 мг/мл на 95%. О механизме действия – противоречивые сообщения, но предполагается, что происходит ингибирование инициации, элонгации и терминации, причем степень воздействия на ту или иную стадию зависит от конц. антибиотика [ABB **182,** 171 (1977)]. Неуст. в щел.
Эметин (6′,7′,10,11-тетраметоксиэметан)	 *M* 480,6 Дигидрохлорид: *M* 553,6 (безводн.)	Бел. порошок. $t_{пл}$ 74. Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. EtOH, эф., $CHCl_3$, ац.; дигидрохлорид х. р. H_2O. Селективно ингибирует синтез белка в клетках эукариот и экстрактах. Действует на активный центр 40S-субъединицы рибосомы и ингибирует транслокацию [Biochem. **16,** 4727 (1977)]. При 4×10^{-8} М (усредненная конц. в системе, но клетки концентрируют эметин) ингибирует рост клеток HeLa на 50%; действие необратимо. Влияет также на синтез ДНК. При 0,1 мМ в бесклеточной дрожжевой системе ингибирует на 80%. Хранить в темн. Алкалоид тубулозин обладает аналогичным действием. Дигидрохлорид может содержать различное кол-во кристаллизационной H_2O.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Эритромицин (Ery)	 эритромицин A *M* 734,0 (Ery A)	λ_{max} (pH 6,3) 280 нм (ε 50). pK_a 8,8. Раств-сть: х.р. MeOH, EtOH, р. эф.; медл. р. H_2O (2 мг/мл). Ингибитор синтеза бактериального белка. При 0,04 мкг/мл ингибирует на 50% рост *B. subtilis*. Входит в группу макролидов, включающую также спирамицин и карбомицин. Раств. имеет щел. р-цию.
Этионин (S-этилгомоцистеин)	$CH_3CH_2S(CH_2)_2CH(NH_2)COOH$ *M* 163,2	Бесцв. пластинки. $t_{пл}$ 272 (разл.). Раств-сть: р. H_2O. Аналог метионина. Ингибирует рост *E. coli*; метионин делает эффект обратимым. Может включаться в белок млекопитающих и бактерий вместо метионина. Активируется метионинактивирующими ферментами.

B. Вещества, влияющие на функции мембран

В данный раздел включены поверхностно-активные вещества (ПАВ), лектины, ингибиторы транспорта и ионофоры и родственные каналообразующие соединения. О других веществах, влияющих на функции мембран, следует смотреть разд. 13, Г («Ингибиторы функций митохондрий и хлоропластов»).

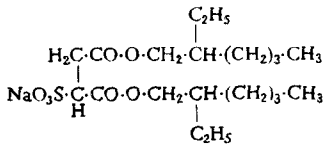
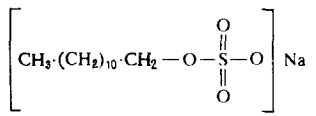
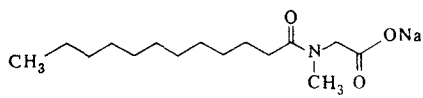
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА (ПАВ)

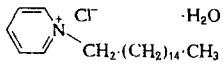
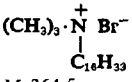
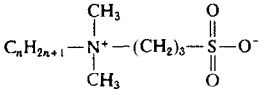
Сокращения: ГЛБ – гидрофильно-липофильный баланс; ККМ – критическая концентрация мицеллообразования (мкмоль/л).

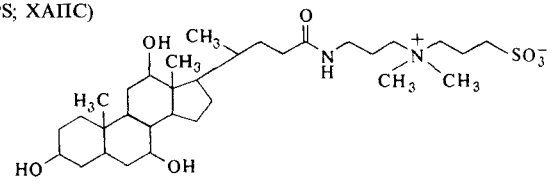
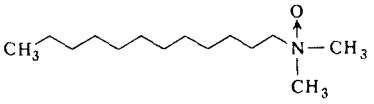
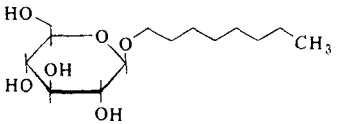
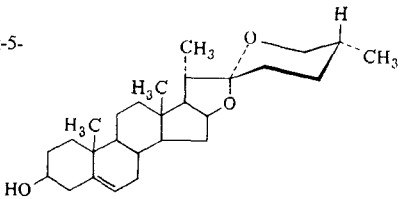
Литература

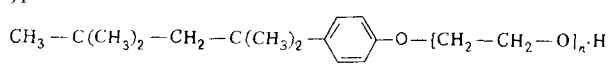
Свойства ПАВ: Meth. Enzymol. **56**, 734 (1979).
Solubilization by surface-active agents and its application in chemistry and the biological sciences, P.H. Elworthy et al., Chapman and Hall, London, 1968.
Селективное выделение из микросом без разрушения мембран: Meth. Enzymol. **31**, 215 (1974).
Использование ПАВ для выделения ядер: Meth. Enzymol. **31**, 254, 558 (1974); Meth. Cell Biol. **15**, 223 (1977).
Солюбилизация мембран: BBA **415**, 29 (1975); **733**, 210 (1983); **737**, 285 (1983).

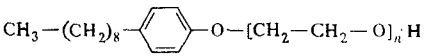
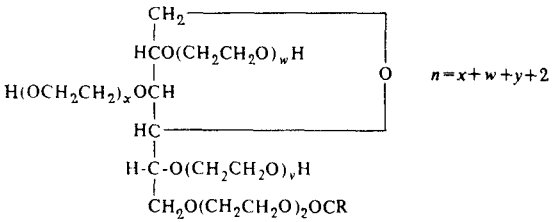
Влияние гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ) и критической концентрации мицеллообразования (ККМ) на солюбилизацию мембранных белков: JBC **251**, 4442 (1976); BBA **455**, 796 (1976); BBA **553**, 40 (1979).
Исследование мембранных белков в растворах ПАВ: BBA **457**, 133 (1976).
Солюбилизация с помощью ПАВ с последующим электрофорезом в полиакриламидном геле: Meth. Enzymol. **32**, 82 (1974).
Получение и исследование плазменных мембран млекопитающих:
Evans W. H., in: Laboratory techniques in biochemistry and molecular biology, T. S. Work, E. Work (eds.) vol. 7, North-Holland, Amsterdam, 1979.

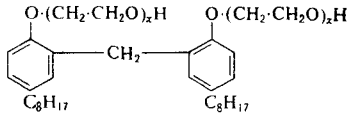
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Анионные ПАВ		
Диоктилсульфосукцинат натрия (аэрозоль ОТ; бис(2-этилгексил)сульфосукцинат натрия)	 *M* 444,6	Воскоподобное тв. в-во. Раств-сть: р. H_2O (18 г/л 30 °C), CCl_4, ац., бенз., MeOH. Слегка гигроскопичен, уст. в кисл. и нейтр. раств., гидрол. в щел. раств. Бактерицидная активность возрастает с понижением pH, при нейтр. pH активен только против грамположительных бактерий; при pH 4 активен против грамположительных и грамотрицательных бактерий [Bull. Int. Ass. Milk Deal. **33**, 491 (1941)].
Додецилсульфат натрия (ДСН; лаурилсульфат натрия; ириум; SDS)	 *M* 288,4	Бел. или кремово-бел. порошок или крист. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. ККМ 8200 (H_2O); 520 (0,5 M NaCl); коммерческий препарат – смесь алкилсульфатов. Бактерицидная активность наибольшая при низких pH, а при pH 4 активен против грамположительных и грамотрицательных бактерий. Вызывает разрушение клеточных стенок грамотрицательных бактерий [J. Gen. Microbiol. **23**, 137 (1960)]. Использ. для отделения от белков нуклеиновых кислот (РНК [JACS **75**, 4041 (1953)] и ДНК [JBC **190**, 165 (1951)]). Солюбилизирует белки и создает на них сильный отрицательный заряд; широко использ. в электрофорезе.
Желчных кислот соли		*См.* Желчные кислоты (разд. 9). Na-соли холевой, дезоксихолевой, таурохолевой и тауродезоксихолевой кисл. широко использ. как ПАВ (ККМ 13 ÷ 15, 4 ÷ 6, 10 ÷ 15 и 2 ÷ 6 мМ).
Саркозил (Na-соль N-лаурилсаркозина)	 *M* 293,4	λ_{max} 220 и 265 нм (ε_{280} 3).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Катионные ПАВ		
Цетилпиридинийхлорид (1-гексадецилпиридинийхлорид; цепринхлорид; цепаколхлорид; цетамоний)	 M 358,0	Бел. порошок. $t_{пл}$ 77 ÷ 83. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$; о. п. р. бенз., эф. Обладает бактерицидными свами, при щел. pH активен против и грамположительных, и грамотрицательных организмов. Денатурирует белки [Adv. Protein Chem. **4,** 79 (1948)] и разрушает мембраны бактериальных клеток по тому же механизму, что и ЦТАБ. Ранее использ. для изменеиия проницаемости клеток. Меняет поверхностный заряд бактерий на противоположный [J. Bacteriol. **51,** 149 (1946)].
Цетилтриметиламмонийбромид (цетавлон; цетримид; ЦТАБ; цетиламин; квамоний)	 M 364,5	Кремово-бел. порошок. Раств-сть: х. р. EtOH, MeOH; 10 H_2O. Коммерческий продукт – смесь алкиламмонийбромидов (~ 80% ЦТАБ). Проявляет бактерицидные св-ва (которые полн. подавляются мылами и анионными ПАВ), при щел. pH активеи против и грамположительных, и грамотрицательиых бактерий. Разрушает клеточные мембраны, освобождая аминокислоты, пуриины, пиримидины и др. малые молекулы [J. Gen. Microbiol. **5,** 391 (1951)]. Использ. для увел. клеточной проницаемости для субстратов при исследовании ферментов и для ускорения действия ферментов [BJ **45,** 325 (1949)]. Денатурирует белки [Adv. Protein Chem. **4,** 79 (1948)].
Цвиттерионные ПАВ		
Семейство ПАВ на основе N-алкил-N,N-диметил-3-аммоний-1-пропансульфонатов		Сульфобетаиновые ПАВ; 3 ÷ 10 и 3 ÷ 12 рекомендуются как наиболее эффективные для освобождения белков из связанных с мембраной компартментов без их денатурации [BBA **733,** 210 (1983)]. Сульфобетаины при pH 2 ÷ 12 не имеют выраженного заряда, который можно было бы использ. при изоэлектрической фокусировке.
цвиттергент 3-06, $n = 6$,	M 251,6	ККМ высокая.
цвиттергент 3-08, $n = 8$	M 279,6	ККМ высокая.
цвиттергеит 3-10, $n = 10$	M 307,6	ККМ 1,2%.
цвиттергент 3-12, $n = 12$	M 335,6	ККМ 0,12%.
цвиттергент 3-14, $n = 14$	M 363,6	ККМ 0,012%.
цвиттергент 3-16, $n = 16$	M 391,6	ККМ 0,0012%.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
3-[(3-Холамидопропил)диметиламмоний-]-1-пропансульфонат (CHAPS; ХАПС)	 *M* 614,9	$t_{пл.}$ 117 (разл.). Сочетает ценные свва ПАВ обоих типов – сульфобетаинового и желчных кисл.
Неионные ПАВ		
N,N-Диметилдодециламино-N-оксид (LDAO; лаурилдиметиламиноксид)	 *M* 229,4	
Октилглюкозид (октил-β-D-глюкопиранозид)	 *M* 292,4	ККМ 25000 мкМ. Не поглощает при 228 нм. Более всего подходит для солюбилизации и выделения мембранных белков.
Диосгенин ((25R)-спиростен-5-ол-3β; нитогенин)	 *M* 414,6	Иглы или пластинки из ац. $t_{пл}$ 204 ÷ 207. Раств-сть: р. большинство орг. раств-лей. Стероидный сапогенин, выделенный из экстракта *Dioscorea tokoro*, Makino. Образует нераств. дигитонид. Сапонин диосцин (диосгенинбис-α-L-рамнопиранозил-(1 → 3, 1 → 4)-β-D-глюкопиранозид) $C_{45}H_{72}O_{16}$: *M* 869,1.
Полиоксиэтиленовые спирты (ПЭГ; PEG)	$CH_3(CH_2)_xO[CH_2CH_2O]_nH$ *n* – число этоксиединиц в оксиэтиленовом остатке	Полиоксиэтиленовые спирты с простыми алкильными цепями подвергаются аутоокислению, особ. на свету, что приводит к образованию поглощающих в УФ-свете продуктов. Для стабилизации можно добавить небольшие кол-ва антиоксиданта (напр., бутилированный гидрокситолуол).
бридж 35	ПЭГ (n = 23), лауриловый спирт	
бридж 56	ПЭГ (n = 10), цетиловый спирт *M* 682	ГЛБ 12,9. ККМ 2 мкМ
бридж 58	ПЭГ (n = 20), цетиловый спирт *M* 1122	ГЛБ 15,7. ККМ 77 мкМ

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
луброл PX	ПЭГ ($n = 9$, 10), лаурилмиристиловый спирт	Лучше, чем тритон X-100, солюбилизирует связанную с мембраной аденилатциклазу [BBRC **38,** 86 (1970)]. Воскоподобное тв. в-во. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. ГЛБ 14,9. ККМ 20 ÷ 66 мкМ. Эффективный солюбилизатор NaK-активируемой АТРазы церебральных микросом [JBC **246,** 531 (1971)]. Использ. совместно с дезоксихолатом в виде 0,5%-ного раств. в 0,25 М сахарозе для отделения белков от микросом млекопитающих и приготовления рибонуклеопротеинов [BJ **70,** 254 (1958); Exp. Cell Res. **23,** 517 (1961)]. 0,05%-ный раств. в буферах обеспечивает разделение сывороточных белков методом электрофореза на бумаге [Clin. Chem. **6,** 413 (1960)].
луброл WX	ПЭГ ($n = 17$), цетилстеариловый спирт	
Полиоксиэтилен-*n*-(*трет*-октил)фенол 		Полиоксиэтиленалкилфенолы содержат гидрофобные гр. и поглощают в УФ-области, что мешает спектрофотометрическому определению белков. После вскрытия фасовки ПАВ следует хранить в стеклянных контейнерах при 0 °С для предотвращения образования пероксидов [Meth. Enzymol. **52,** 145 (1978)]. Для разрушения пероксидов можно использ. $NaBH_4$ [Anal. Biochem. **83,** 274 (1977)]. ГЛБ 10,4. ККМ 100 мкМ.
тритон X-45	ПЭГ ($n = 5$), *n*-(*трет*-октил)фенол *M* 427	
тритон X-114	ПЭГ ($n = 7$, 8), *n*-(*трет*-октил)фенол *M* 537	Темп. помутнения 22. ГЛБ 12,4. ККМ 210 мкМ.
тритон X-100	ПЭГ ($n = 9$, 10), *n*-(*трет*-октил)фенол *M* 625	Темп. помутнения 65. ГЛБ 13,5. ККМ 250 мкМ. Лучший реагент, позволяющий максимально увел. число, а также выход растворимых компонентов мембран, выделяемых в неденатурирующих усл. Степень солюбилизации увел. с увел. содержания детергента вплоть до выхода на плато при соотношении детергент: белок 0,5–1 [BBA **553,** 40 (1979)].
тритон X-102	ПЭГ ($n = 12$, 13), *n*-*трет*-октилфенол *M* 757	Темп. помутнения 88. ГЛБ 14,6. ККМ 330 мкМ.
тритон X-165	ПЭГ ($n = 16$), *n*-(*трет*-октил)фенол *M* 911	Темп. помутнения 100. ГЛБ 15,8. ККМ 430 мкМ.
тритон X-305	ПЭГ ($n = 30$), *n*-(*трет*-октил)фенол *M* 1527	Темп. помутнения 100. ГЛБ 17,3. ККМ 650 мкМ.
нонидет P40	ПЭГ ($n = 9$), *n*-(*трет*-октил)фенол	Св-желт. вязкая жидк. Раств-сть: ∞ H_2O; р. EtOH, *изо*-PrOH, эф., ац., бенз. ГЛБ 13,1. ККМ 290 мкМ. Для солюбилизации липидного материала использ. в виде 1,5%-ного (об./об.) раств. в 0,2 М фосфатном буфере (pH 7,2), содержащем 0,006 М $MgCl_2$; позволяет выделять эндосперм протопластов [Aust. J.Biol. Sci. **16,** 375 (1963); **17,** 102 (1964)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Полиоксиэтиленноилфеиол (тритон N-101)	 ПЭГ (n = 9,10), нонилфенол	ГЛБ 13,5. ККМ 85 мкМ.
Полиоксиэтиленовые эфиры на основе производных сорбита		
твин 20 (полисорбат 20)	ПЭГ (n = 20), сорбитанмонолаурат	ГЛБ 16,7. ККМ 60 мг/л. Сл. ПАВ; иногда использ. для дополнительной обработки мембран с целью удаления периферийных белков [BBA **455,** 796 (1976)].
твин 40 (полисорбат 40)	ПЭГ (n = 20), сорбитанмонопальмитат	ГЛБ 15,6. ККМ 29 мг/л.
твин 60 (полисорбат 60)	ПЭГ (n = 20), сорбитанмоностеарат	ГЛБ 14,9. ККМ 27 мг/л.
твин 80 (полисорбат 80)	ПЭГ (n = 20), сорбитанмоноолеат	Янтарная вязкая жидк. Раств-сть: х.р. H_2O; р. EtOH, MeOH, Et-ацетат, толуол. ГЛБ 15,0. ККМ 13 мг/л. Антибактериальной активностью не обладает или в очень малой степени. Использ. для стимуляции скрытого роста туберкулезной палочки (опт. конц. 0,1%) [J. Exp. Med. **83,** 409 (1946)]. Может подвергаться метаболизму с высвобождением олеиновой кисл. (последняя – ингибитор роста некоторых бактерий) [Annls Inst. Pasteur, Paris **85,** 277, (1953)]. У некоторых бактерий индуцирует переход от гладких форм в шероховатые [C. R. Seanc. Soc. Biol. Paris **146,** 820, (1952)]. Использ. для фракционирования тканей клеточных культур [Proc. R. Soc. **B156,** 521, (1962)].
эмазол 4130	По структуре близок к твину 80	Янтарная вязкая жидк. Раств-сть: х.р. H_2O; р. EtOH. ГЛБ 16,5. Широко использ. в виде 1%-ного раств. в 0,1 М трисе или фосфатном буфере (pH 7,4) для извлечения и солюбилизации цитохрома *a* из тканей млекопитающих [J. Biochem., Tokyo **46,** 917 (1959); JBC **235,** 845 (1960)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Полиоксипропиленполиоксиэтиленовые эфиры плуроник L62, $n = 15$ плуроник L64, $n = 25$ плуроник F68, $n = 140$	Полиоксипропилен (M 1501 ÷ 1800) + (этокси-единицы)$_n$	
Тритон WR 1339 (*n*-изооктилполиоксиэтиленфенолформальдегидный полимер; тритон A 20; алеваир; суперинои; тилоксапол)		Бесцв. жидк. Раств-сть: х. р. H_2O. Проявляет противотуберкулезную активность in vivo [Nature, Lond. **168,** 150 (1951)]. См. обзор «Влияние некоторых поверхиостно-активиых веществ на взаимоотношение хозяин–паразит при экспериментальном туберкулезе [CIBA Foundation Symposium on Experimental Tuberculosis, 1955, p. 299]. Корректирует изменения в печеночных и сывороточных липидах, вызванные обработкой этинилэстрадиолом [PNAS **75,** 4130 (1978)]. Ингибитор микросомальной холестеринацил-СоА-траисферазы из печени [BJ **174,** 45 (1978)]. Использ. для выделеиия модифицированных лизосом (тритонсом) [Meth. Enzymol. **31,** 323 (1974)].
Другие ПАВ		
Хаотропные агенты		Ряд «активности» (эффективиости) при экстракции белков из мембран: $CCl_3COO^- > SCN^- >$ гуанидин $> ClO_4^- > Br^- > NO_3^- >$ мочевина. Хаотропиые анионы увел. раств-сть в H_2O неполярных остатков [PNAS **62,** 1129 (1969)]. Некоторые белки диссоциируют из мембран под действием хаотропиых агентов. Выходы могут быть низкими, однако селективность их действия делает их чрезвычайно полезными в-вами. Гуанидии-HCl и мочевина обладают аналогичными св-вами. Мочевиина обладает большим солюбилизирующим действием при 0 °C, чем при 25 °C. Антихаотропные аниоиы (большие многозарядные или малые однозарядные анионы, такие, как SO_4^{2-}, PO_4^{3-} и F^-) использ. для сборки мембранных компонентов, разъединенных хаотропными анионами.

ЛЕКТИНЫ

Лектины – агглютинирующие клетку и специфичные к сахарам белки, найденные в растениях, обычно в семенах (фитогемагглютинины), и в организмах беспозвоночных и низших позвоночных. Связывание лектинов с поверхностью плазматической мембраны клеток имеет для структурного и функционального состояния мембран очень разнообразные следствия, напр. вызывает изменения в расположении поверхностных белков и гликопротеинов, в физическом состоянии мембранных липидов, проницаемости мембраны для различных веществ и активности мембранных ферментов. Некоторые из конкретных изменений являются ключевыми, ответственными за дальнейшие изменения в мембране и внутри клетки, напр. митогенные лектины индуцируют репликацию нуклеиновых кислот и размножение лимфоцитов.

Литература

Sharon N., Lis H., Lectins: cell-agglutinating and sugar-specific proteins, Science **177,** 949 (1972).
Lis H., Sharon N., The biochemistry of plant lectins (phytohaemagglutinins), ARB **42,** 541 (1973).
Liener I. E., Phytohaemagglutinins (phytolectins), Ann. Rev. Plant Physiol. **27,** 291 (1976).
Brown J. C., Hunt R. C., Lectins, Int. Rev. Cytology **52,** 277 (1978).
Purification and properties of carbohydrate-binding proteins, Meth. Enzymol. **28,** 313 (1972).
Agglutination and binding assays, Meth. Enzymol. **32,** 615 (1974).
Group-specigic separation of glycoproteins, Meth. Enzymol. **34,** 331 (1974).

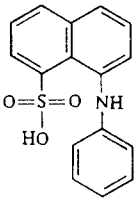
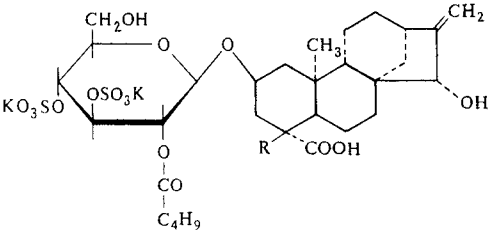
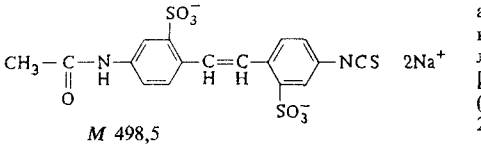
Соединение	Формула и молекулярная масса	Примечания
Белок А	Одна полипептидная цепь *M* 42000	Выделен из клеточной стенки *Staphylococcus aureus.* Связывание специфично для Fc-фрагмента молекул IgG нескольких типов. Широко использ. в работах по иммунному анализу, так как устраняет необходимость подбора оптимального соотношения антиген/антитело [Anal. Biochem. **97,** 24 (1979); J. Immunol. **115,** 1617 (1975)].
Конканавалин А	Белок, состоящий из 2 идентичных субъединиц (*M* 26000), каждая содержит 237 аминокислотных остатков; при pH > 7 тетрамер; 2 центра связывания Ca^{2+}; 2 центра связывания атомов переходных металлов; 2 центра связывания сахаридов (когда оба типа металлсвязывающих центров заняты)	Гемагглютинин из канавалии мечевидной (*Canavalia ensiformis*); образует нерастворимые комплексы с биополимерами, содержащими множественные α-D-глюкопиранозильные (или их 2-ацетамидо-2-дезоксипроизводные), α-D-маннопиранозильные или β-D-фруктофуранозильные остатки в качестве невосстанавливающих концов. Может также связываться с остатками маннозы внутри молекулы. Обладает митогенным действием.
Лектин пшеницы		Выделен из *Triticum vulgare.* Участок связывания комплементарен последовательности из трех β(1-4)-связанных N-ацетил-D-глюкозаминовых остатков; не агглютиирует нормальные клетки, если не созданы особые усл. (напр., после протеазной обработки), в то время как трансформированные клетки агглютинируются.

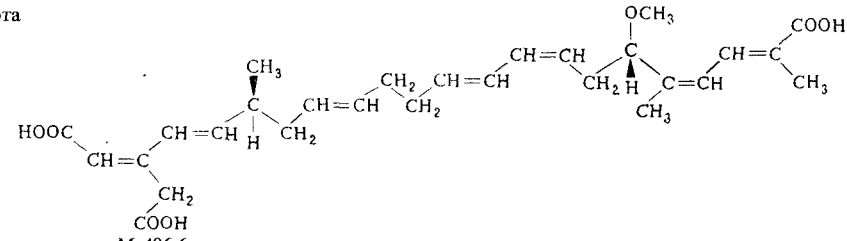
Соединение	Формула и молекулярная масса	Примечания
Лектин сои	Тетрамер в широком диапазоне pH *M* 120000	Выделен из *Glycine max*. Специфичен к N-ацетил-D-галактозаминовым остаткам. Оказывает митогенное действие на лимфоциты, обработанные нейраминидазой.
Лектин чечевицы		Выделяют из *Lens esculenta*. Сродство к α-D-маннопиранозильным и α-D-глюкопиранозильным остаткам; гемагглютинирующее действие; оказывают митогенное действие на необработанные лимфоциты.
Лектин *Helix pomatia*	Гексамер: *M* 79000	Лектин из улиток, специфичный к остаткам N-ацетил-D-галактозамина. Связывается с Т-лимфоцитами, обработанными нейраминидазой, но не с В-клетками, обработанными таким же образом. Специфичен к человеческим эритроцитам группы А.
Рицин	Димер, состоящий из 493 аминокислотных остатков. А- и В-цепи соединены дисульфидным мостиком. Димер: *M* 66000 А-цепь: *M* 32000 В-цепь: *M* 34000	Чрезвычайно токсичный гликопротеин из семян клещевины *Ricinus communis*. Проникновение в клетку осуществляется в две стадии: 1) токсин связывается В-цепью с концевой галактозой рецептора на поверхности клетки и 2) дисульфидная связь расщепляется, освобождая А-цепь, которая проникает в клетку, где связывается с 60S-субъединицей рибосомы в той области, где, по-видимому, связываются EF_1 и EF_2. Абрин: *M* 65000; аналогичный по действию токсин из *Abrus pecatorius*.
Фитогемагглютинин (лейкоагглютинин)	*См.* [Ann. Rev. Plant Physiol. **27**, 291 (1976)] Тетрамер: *M* 126000 L- и R-субъединицы: *M* 31000 ÷ 34000	Сырой препарат из фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris*) широко использ. как митоген. Семейство из 5 гетерогенных белков, каждый из которых состоит из изомерных нековалентно связанных тетрамеров, построенных из субъединиц двух различных типов: L (лейкоагглютинирующая активность) и R (гемагглютинирующая активность); все белки обладают различной биологической активностью. Гибридные молекулы митогенны.

ИНГИБИТОРЫ ТРАНСПОРТА

Литература

Hochster R. M., Quastel J. H. (eds.), Metabolic Inhibitors, vol. 3, ch. 1–3, 10, 1972.

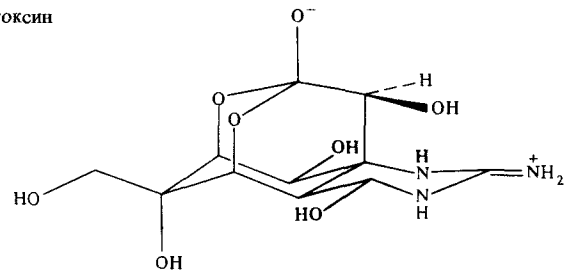
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
8-Анилинонафтил-1-сульфокислота	 *M* 229,4	Флуоресценция: F_{max} 480 нм (в EtOH). Сильно флуоресцирует в орг. растворителях, но не в водн. раств. Используется, как гидрофобный зонд в исследовании мембран и белков. Наиболее известный из зондов. См. обзор [Meth. Enzymol. **32,** 234 (1974)]. Ингибирует анионную проницаемость мембран красных клеток [J. Mem. Biol. **5,** 154 (1971)].
Атрактилозид (атрактилат калия)	 Атрактилозид: R = H Карбоксиатрактилозид (гуммиферин): R = COOH K_2-соль атрактилозида: *M* 803,0 Карбоксиатрактилозид: *M* 770,8 K_2-соль карбоксиатрактилозида + + 1H_2O: *M* 865,0	Бесцв. крист. Раств-сть: р. EtOH; н. р. H_2O. Предотвращает движение аденинНуклеотидов через внутреннюю митохондриальную мембрану путем вытеснения нуклеотидов из белка транслоказы, связанного с мембраной. При $\leqslant 1$ нмоль/мг белка ингибирует на 50%. Карбоксиатрактилозид также специфический ингибитор транспорта аденинНуклеотида, но неконкурентный в отношении нуклеотидов. Растительные митохондрии относительно нечувствительны к атрактилозиду, но не к карбоксипроизводным. См. обзор [BBA **456,** 1 (1976)]. *См.* Бонгкрековая кислота.
4-Ацетамидо-4′-изотиоцианостильбен-2,2′-дисульфоновая кислота, Na_2-соль (SITS)	 *M* 498,5	Ингибитор транспорта анионов [JBC **255,** 1113 (1980)]; не проникающий через мембрану зонд, реагирующий с аминными, сульфгидрильными и, повидимому, имидазольными гр. Удаляется путем промывки альбумином [J. Mem. Biol. **10,** 311 (1972); **15,** 207 (1974)]. DIDS – 4,4′-диизотиоциано-2,2′-стильбендисульфонат.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Бонгкрековая кислота	 *M* 486,6	Раств-сть: р. разб. щел. Предотвращает движение адениннуклеотидов через внутреннюю митохондриальную мембрану, препятствуя освобождению нуклеотидов из белка-носителя (транслоказы) со стороны матрикса. При < 1 нмоль/мг белка ингибирует на 50%. Бонгкрековая кислота – *транс*-изомер по расположению двух карбоксильных гр. на одном из концов цепи; изобонгкрековая кислота (*цис*-изомер) проявляет аналогичное действие [Biochem. **15,** 2323 (1976)]. См. обзор [BBA **456,** 1 (1976)].
α-Бунгаротоксин	Полипептид из 74 аминокислот [ZPC **353,** 243 (1972)] *M* 7983	Нейротоксин из змеиного яда, действующий постсинаптически путем блокады ацетилхолинового рецептора [ARB **42,** 253 (1973)]. *Чрезвычайно токсичен!* Работа требует соблюдения особых мер предосторожности. Для мышей $ЛД_{50}$ (подкожно) 0,15 мг/кг.
β-Бунгаротоксин	Белок, состоящий из двух субъединиц *M* = 7000 + 13500 = 20500	Нейротоксин из змеиного яда. Меняет характер освобождения нейромедиатора из окончаний двигательных нервов млекопитающих: ингибирует накопление Ca^{2+} в субклеточных фракциях мозга [BBRC **58,** 475 (1974)]. Обладает активностью Ca^{2+}-зависимой фосфолипазы A_2 [PNAS **73,** 178 (1976)]. *Чрезвычайно токсичен!* Работа требует соблюдения особых мер предосторожности. Для мышей $ЛД_{50}$ (подкожно) 89 мкг/кг.
Рутениевый красный	$[(NH_3)_5RuORu(NH_3)_4ORu(NH_3)_5]^{6}Cl_6^-$ *M* 786,4	Красный порошок, существует в виде тетрагидрата. Раств-сть: р. H_2O. При 4 нмоль/мг белка ингибирует транспорт Ca^{2+} в митохондриях на 50%. Ингибирование неконкурентное (в отличие от конкурентного ингибирования La^{3+} [Curr. Topics Bioenergetics **6,** 259 (1977)]. Реагирует с мукополисахаридами и использ. как краситель [J. Cell Biol. **57,** 874 (1973)]. Гексаминкобальтихлорид, который также реа-

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

гирует с мукополисахаридами, также специфически ингибирует транспорт Ca^{2+}. Рутениевый красный перед использ. необходимо очищать; склонен окисляться в мягких кисл. усл.; сильно адсорбируется на стекле и кварце, в результате возникает проблема загрязнения при проведении экспериментов.

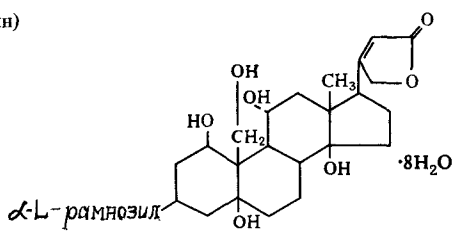
Тетродотоксин



M 319,3

Бесцв. крист. Темнеет при 220 °C (без плавления). $[\alpha]_D^{25}$ −8,64 (в разб. укс. кисл.). pK_a 8,7. Раств-сть: ум.р. H_2O, эф., EtOH; р. разб. укс. кисл. Нейротоксин; при 10^{-9}–10^{-7} М ингибирует потенциал действия мембран нервных клеток; блокирует ранний кратковременный поток Na^+, необходимый для первоначальной деполяризации мембраны нервной клетки. Содержится в некоторых видах рыб (напр., иглобрюхие (фугу)) и амфибий (напр., тритоны). У иглобрюхих содержится гл. обр. в печени и яичниках. Уст. в раств. при pH 4 ÷ 5 и 0 °C. Неуст. в кисл. и щел. растворах; быстро разл. при кипячении при pH ⩽ 2. Слабое основание превращается в хемилакталь при протонировании. *Чрезвычайно токсичен!* Работа требует соблюдения особых мер предосторожности. Для мышей $ЛД_{50}$ (в.в.) 8 мкг/кг.

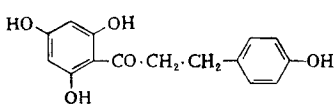
Уабаин (G-строфантин)



M 584,6
Гидрат: *M* 728,8

Блестящие пластинки октагидрата. $t_{пл}$ безводн. 190; гидрата 130. Раствсть: р. H_2O, EtOH. Ингибирует транспорт катионов. Классический ингибитор Na^+/K^+-АТРазы (10^{-6} М).

Флоретин

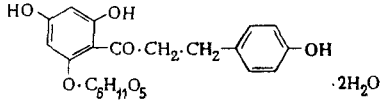


M 274,3

Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 264 ÷ 271 (разл.). Раств-сть: р. EtOH, ац., укс. кисл.; н. р. H_2O, эф. Ингибирует мышечную фосфорилазу, а также захват глюкозы эритроцитами. Механизм воздействия на эритроциты не совсем ясен.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

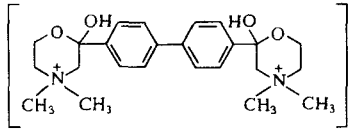
Флоридцин (флорицин, азеботин)



Гидрат: *M* 472,4

Шелковистые бел. иглы. $t_{пл}$ 108. Твердеет при 138; заново плавится при 170. Раств-сть: х. р. гор. H_2O; р. EtOH; о. п. р. эф. Неконкурентный ингибитор мышечной (но не картофельной) фосфорилазы. Ингибирует фосфатазы и UDPG-гликогентрансглюкозилазу. Вызывает глюкозурию путем предотвращения реабсорбции глюкозы в почечных канальцах.

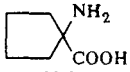
Хемихолинийбромид



M 574,4

Бел. крист. порошок. Раств-сть: р. H_2O. Парализует дыхание. Блокирует холинэргический транспорт, препятствуя синтезу ACh. Ингибирует захват холина и холинкиназу.

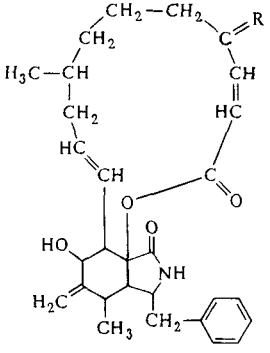
Циклолейцин (1-аминоциклопентанкарбоновая кислота)



M 129,2

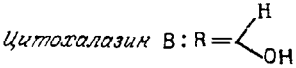
Крист. из EtOH–H_2O. $t_{пл}$ 330 (разл.). Раств-сть: 5 H_2O. Не подвергающаяся метаболизму синтетическая аминокислота; антагонист валина. Ингибирует транспорт аминокислоты [Can. J. Physiol. Pharm. **53,** 1027 (1975)].

Цитохалазин



Цитохалазин A: R=O

M 477,6



Цитохалазин B: R=

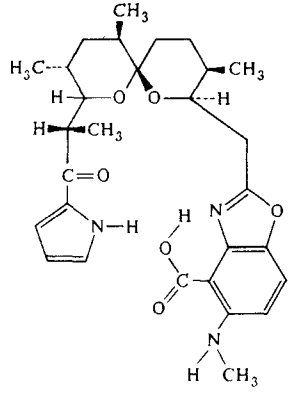
M 479,6

$t_{пл}$ В 218 ÷ 221. Раств-сть: н. р. H_2O; р. диметилсульфоксид, ац. Ингибирует клеточную подвижность, фагоцитоз и деление цитоплазмы; вызывает вытеснение ядра; при 0,5–3,0 мкг/мл обратимо модифицирует клеточные микрофиламенты; под действием цитохалазина В быстро нарушается пространственное расположение актиновых пучков, не микротрубочек [Cell motility, Pollard T., Rosenbaum J. (eds.), Cold Spring Harborr Lab., 1976, p. 403–418]. Цитохалазин А ингибирует сборку тубулина и актина in vitro и уменьшает связывание колхицина с тубулином путем необратимого воздействия на -SH группы белков [J. Supramol. Struct. **5,** 81 (1976)]. При пониженной конц. (10^{-8}–10^{-6} М) А ингибирует транспорт малых молекул (напр., гексоз и нуклеозидов). При 10^{-6}–10^{-4} М влияет на подвижность и морфологию. Центры связывания см. [JBC **252,** 5464 (1977)]; транспорт глюкозы см. [JBC **252,** 5456 (1977)].

ИОНОФОРЫ И РОДСТВЕННЫЕ КАНАЛООБРАЗУЮЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ

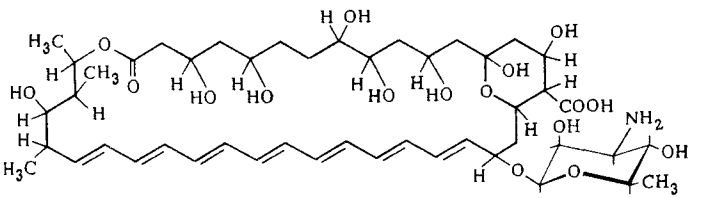
Литература.

The use of ionophores and channel formers in the study of the function of biological membranes, Current Topics in Bioenergetics **6,** 221 (1977); Biological application of ionophores, ARB **45,** 501 (1976).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
A 23187	 Свободная кислота: *M* 523,6	λ_{max} (EtOH) 378, 278, 225 и 204 нм (ε 8200, 18200, 26200 и 28200). pK_a 6,9. Раств-сть: р. EtOH (> 200 мкМ); н. р. H_2O. Ионофор; катализирует обмен протонов на Ca^{2+} и Mg^{2+} (относительное сродство Ca^{2+}: Mg^{2+} = 2,6:1); использ. как Ca^{2+}-ионофор; высокая селективность к двухзарядным катионам по сравнению с однозарядными. См. обзор [ARB **45,** 501 (1976)]. При 0,3 нмоль/мг белка в присутствии ЭДТА освобождает митохондрии от Ca^{2+} и Mg^{2+} за < 30 с [JBC **247,** 6970 (1972)]. Наиболее перспективный из числа двухосновных ионофоров, т. к. обладает max сродством к физиологическим ионам (см. X537A; проявляет max сродство к Ba^{2+}).
Аламетицин	Ac-Mea-Pro-Mea-Ala-Mea-Ala-Gln-Mea-Val-Mea-Gly-Leu-Mea-Pro-Val-Mea-Mea-Glu-Gln | NH—CH—CH_2OH | CH_2—C_6H_5 (F30) Mea – 2-метилаланин *M* 1960	Раств-сть: Na-соль р. H_2O. Каналообразующий антибиотик; катализирует обмен протонов на однозарядные катионы, к которым проявляет близкое сродство ($H^+ > Cs^+ \simeq \simeq Rb^+ \simeq K^+ \simeq Na^+ \simeq Li^+$). Взаимодействие антибиотика с мембраной является потенциалзависимым. См. обзор [Curr. Topics in Bioenergetics **6,** 221 (1977)]. Ранее считали, что молекула циклическая; аламетицин – смесь нескольких компонентов, гл. обр. F_{30} (85%) и F_{50} (12%) (последний отличается лишь тем, что концевой остаток Gln–COOH α-амидирован). Структуру см. [BJ **153,** 181 (1976)]; механизм см. [Ann. N.Y. Acad. Sci. **264,** 247 (1977)]. Сузукациллин – близкородственный пептид [BBA **433,** 164 (1976)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

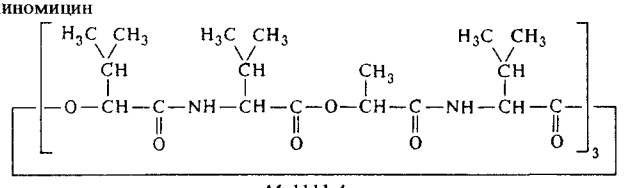
Амфотерицин B (полиеновый антибиотик; амфотерный полиен)



M 924,1
Гидрохлорид Me-эфира: *M* 974,6

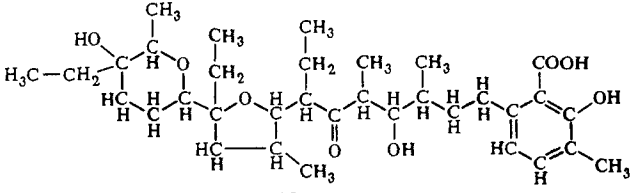
λ_{max} (MeOH) 318,5, 304, 291 и 230 нм ($A^{1\%}_{1\,см}$ 800, 870, 580 и 300) (значения зависят от конц., способа приготовления раств., длительности хранения раств. в ДМСО, способа и интенсивности перемешивания водн. раств.). Раств-сть: о. п. р. H_2O (pH 7); м. р. ДМФ (2 ÷ 4 мг/мл), ДМСО (30 ÷ ÷ 40 мг/мл); р. H_2O (pH 2 и 11). Me-эфир-HCl р. H_2O (>75 мг/мл). Индуцирует с низкой селективностью потерю низкомолекулярных соединений из клеток; по-видимому, образует каналы путем комплексообразования с мембранным холестерином; не действует на митохондрии; лизирует красные кровяные клетки; эффективен при низких конц. (10^{-6} М). Кандидин, нистатин и фунгихромин обладают аналогичным действием. См. обзор [Adv. Lip. Res. **14**, 127 (1976)]. Исходные раств. готовят в ДМСО или ДМФ; можно разбавлять H_2O до 50–100 мкг/мл. Исходные раств. уст. в темн. в отсутствие O_2. Me-эфир-HCl обладает полной пропротивогрибковой активностью родительского антибиотика и раств. в H_2O. Обычно доступен аспартат метилового эфира, также растворимый в H_2O. Гидрохлориды эфиров других цвиттерионных полиенов также сохраняют полную активность [J. Antibiotics **25**, 256, 259, 261 (1972)]. Не влияет на прокариотические клетки.

Валиномицин



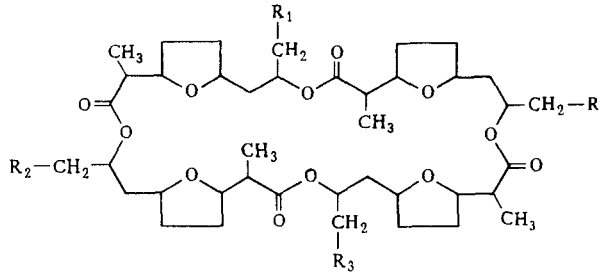
M 1111,4

Крист. Раств-сть: р. $CHCl_3$, ац.; о. п. р. H_2O. Нейтр. ионофор; эффективно действует как довольно специфический K^+-ионофор; ряд селективности $Rb^+ > K^+ > Cs^+ > NH_4^+ > Na^+ \simeq Li^+$ (уст. комплекса с K^+ в 10^3–10^4 раз выше, чем комплекса с Na^+). При $< 10^{-8}$ М индуцирует K^+-проводимость в клеточных мембранах. См. обзор [EJB **94**, 321 (1979)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Грамицидины A, B, C (линейные грамицидины)	HCO-L-Val-Gly-L-Ala-D-Leu-L-Ala D-Val L-Trp-D-Leu-L-Trp-D-Val-L-Val D-Leu-L-Trp-D-Leu-L-Trp $HO-CH_2-CH_2-NH$ грамицидин A *M* 1884 Грамицидин B: L-Phe-11 Грамицидин C: L-Tyr-11	Каналообразующие антибиотики, делающие мембраны проницаемыми для протонов и катионов щел. металлов; при 0,5–1 мкг/мл подвергают гемолизу красные кровяные тельца; вызывают K^+/H^+-обмен в митохондриях. Не являются потенциалзависимыми (*см.* Аламетицин): механизм действия и структура, по-видимому, отличаются от грамицидина S (*см.*). Встречаются в виде смеси A (85%), B и C. См. обзор [EJB **94,** 321 (1979)].
Грамицидин S	D-Phe ← L-Leu ← L-Orn ← L-Val L-Pro L-Pro L-Val → L-Orn → L-Leu → D-Phe *M* 1141,4 Дигидрохлорид: *M* 1214,4	Раств-сть: р. EtOH; н. р. H_2O. Разобщает окислительное фосфорилирование в митохондриях, при 0,01 мкМ на 50%. По структуре и действию сходен с тироцидином (*см.*), а не с линейными грамицидинами A, B и C (*см.*).
Лазалоцид A (X 537 A)	 *M* 590,8	pK_a 5,8. λ_{max} (50%-ный *изо*-PrOH в H_2O) 248 и 318 нм (ε 6750 и 4200). Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. Карбоксильный ионофор с широким спектром комплексообразующего действия. Катализирует обмен двух- или однозарядных катионов на протоны. Транспорт в более объемную фазу в конц.-зависимом процессе однозарядных катионов в 10 раз более эффективен, чем двухзарядных. Переносит катехоламины. См. обзор [ARB **45,** 501 (1976); Fed. Proc. **32,** 1698 (1973)]. A 23187 (*см.*) более специфичен к Ca^{2+} и Mg^{2+}.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

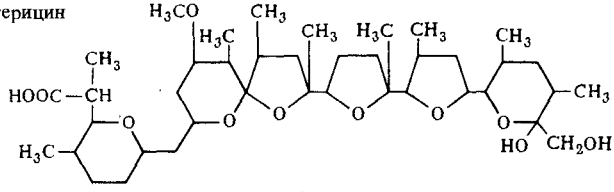
Макротетралидные ионофоры (нонактин; монактин; динактин; тринактин)



Нонактин $R_{1\div4}$ = H
M 736,9
Монактин $R_{1\div3}$ = H; R_4 = Me
M 750,9
Динактин $R_{1\div2}$ = H; $R_{3\div4}$ = Me
M 765,0
Тринактин R_1 = H; $R_{2\div4}$ = Me
M 779,0

Раств-сть: р. EtOH; н. р. H_2O. Нейтр. иоиофоры селективно переносят K^+ в присутствии равных конц. др. катионов щел. металлов. Ряд селективности $NH_4^+ > K^+ > Rb^+ > Cs^+ > Na^+ > Li^+$. Разобщает окислительное фосфорилирование при 10^{-7} М. См. обзор [ARB **45,** 501 (1976); Curr. Topics in Bioenergetics **6,** 221 (1977)].

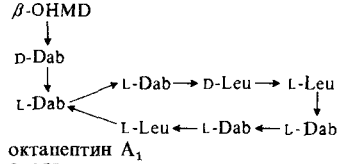
Нигерицин



M 725,0

pK_a 8,45. Раств-сть: р. EtOH; н. р. H_2O. Карбоксильный ионофор; катализирует обмен K^+ на H^+. Ряд селективности: $K^+ > Rb^+ > Na^+ > Cs^+ > Li^+$. При 10^{-7} М действует на митохондрии. См. обзор [Curr. Topics in Bioenergetics **6,** 221, (1977); Fed. Proc. **32,** 1698 (1973)]. Монензин и дианмицин – родственные макротетралиды с разомкнутой цепью, различающиеся сродством к ионам.

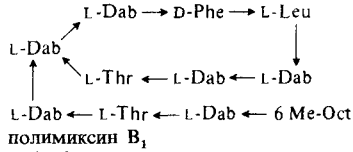
Октапептины



октапептин A_1
β-OHMD – 3-гидрокси-8-метилдекановая кислота; Dab – 2,4-диаминомасляная кислота
M 1024,4

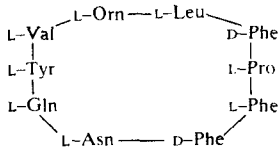
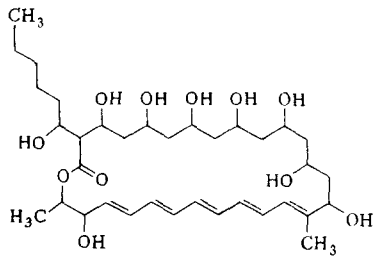
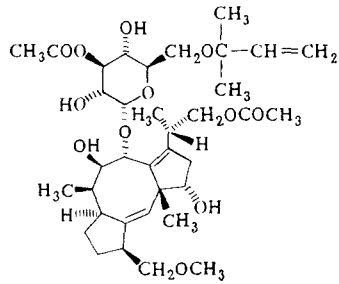
Семейство включает 7 октапептидов, различающихся ацильной группой и остатками 6 и 7. Нарушает нормальную проницаемость мембран для малых молекул. Смесь октапептидов в 3–10 раз более эффективна против грамположительных бактерий, чем полимиксин (*см.*). См. обзор [ARB **46,** 723 (1977)].

Полимиксины (циркулин; колистины)



полимиксин B_1
Dab – 2,4-диаминомасляная кислота
6Me-Oct – 6-метилоктановая кислота
Гидрохлорид (· 5HCl): *M* 1385,8

Раств-сть: гидрохлорид х. р. H_2O, MeOH, свободное основание м. р. H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. орг. раств-ли. Семейство включает 7 декапептидов, различающихся по аминокислотному составу, все содержат 5 или 6 остатков Dab; ацильная группа – 6 Me-Oct или 6-Me-гептановая кислота; ингибирует рост микроорганизмов (при 2 мкг/мл рост *E. coli*); грамотрицательные в целом более чувствительны, чем грамположительные. Полимиксины связываются с клеточной

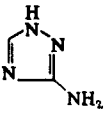
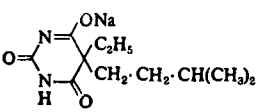
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		мембраной и нарушают ее нормальную проницаемость для малых молекул. Полимиксин B (сульфат) – смесь B_1 и B_2; известен так же, как аэроспорин. Полимиксины E_1 и E_2 известны так же, как колистин A и B. *См.* также Октапептины. См. обзор [ARB **46,** 723 (1977)].
Тироцидин	 Тироцидин A *M* 1270,5 В тироцидине B вместо L-Phe входит L-Trp	Гидрохлорид тироцидина получают в виде тонких игл из MeOH или EtOH + HCl. $t_{пл}$ 240 (разл.). Раств-сть: гидрохлорид р. 95%-ный EtOH, лед. укс. кисл., пир.; м. р. H_2O, ац., EtOH; н. р. эф., углеводороды, $CHCl_3$. Проявляет св-ва ПАВ. Эффективен против грамположительных и грамотрицательных бактерий. «Тироцидин» – семейство основных гомеомерных пептидов (некоторые циклические, сходны между собой и характеризуются наличием орнитина). Были выделены три главных компонента: A, B и C; наиболее изучен A. Нарушает проницаемость клеточных мембран. Грамицидин S – наиболее близок по структуре и функции.
Филипин (нейтральный полиеновый антибиотик)	 Филипин III *M* 654,8	λ_{max} (MeOH) 355, 338 и 322 нм ($A_{1см}^{1\%}$ 1330, 1360 и 910). Раств-сть: х. р. ДМФ; р. 95%-ный EtOH, MeOH; почти н. р. H_2O. Филипины II, III и IV имеют по 8, 9 и 9 OH-гр. Филипин III изомерен филипину IV. Филипин I – смесь компонентов. Механизм действия, св-ва и литературу *см.* Амфотерицин B.
Фузикоцин	 *M* 680,8	Фитотоксичен. Выделен из *Fusicoccum amygdali* Del. (гриб, вызывающий гниение персиковых и миндальных деревьев). Использ. при конц. 10^{-5}–10^{-7} М. Связывается с мембранами растительных клеток, увел. энергозависимый направленный наружу поток H^+, направленный внутрь поток K^+ и потенциал клеточной мембраны. Не влияет ни на пассивный транспорт растворенных в-в, ни на электропроводность (базальную или индуцируемую валиномицином) в искусственных фосфолипидных мембранах [Plant Sci. Lett. **10,** 75 (1977)]. См. обзор [Ann. Rev. Plant Physiol. **30,** 273 (1979)].

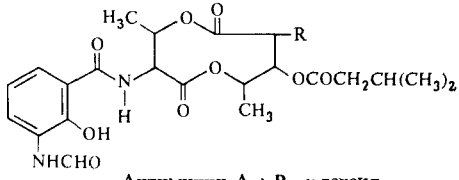
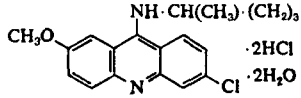
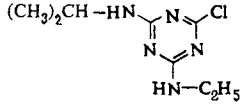
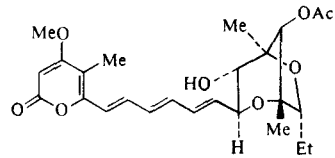
Г. Ингибиторы функций митохондрий и хлоропластов

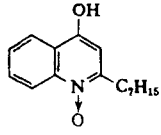
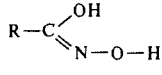
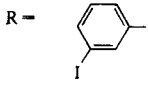
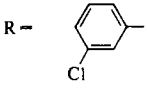
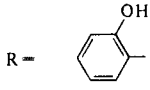
Литература.

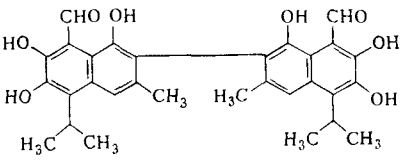
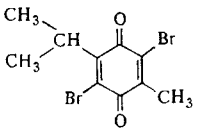
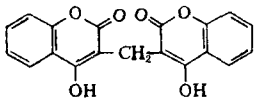
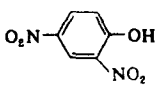
Webb J. L., Enzyme and Metabolic Inhibitors, vol. 1–4, Academic Press, New York, 1963; *Hochster R. M., Quastel J. H.* (eds.), Metabolic Inhibitors, vol. 1, 2, Academic Press, New York, 1963, vol. 3, 1972, vol. 4, 1973; *Hanstein W. G.*, Uncoupling of oxidative phosphorylation, BBA **456**, 129 (1976); *Izawa S.*, Inhibitors of electron Transport, Ch. 16 in Encyclopedia of plant physiology (N. S.) vol. 5, Photosynthesis I, Trebst A., Avron M. (eds), Springer-Verlag, Berlin, 1977; *Izawa S., Good N. E.*, Inhibition of photosynthetic electron transport and photophosphorylation, Ch. 32 in: Meth. Enzymol. **24**, Photosynthesis and Nitrogen Fixation, Part B, San Pietro (ed.), Academic Press, New York, 1972.

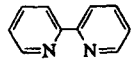
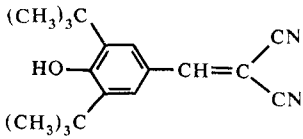
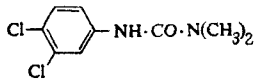
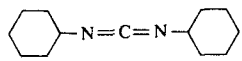
Вещества, ингибирующие электронный транспорт, как следствие ингибируют также окислительное фосфорилирование, фотосинтез и фотофосфорилирование. Некоторые вещества (например, динитрофенол), которые разобщают или ингибируют фосфорилирование или ингибируют стадию выделения кислорода в процессе фотосинтеза, могут не оказывать влияния на электронный транспорт или даже стимулировать его.

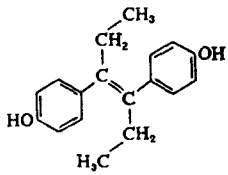
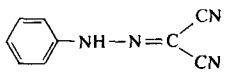
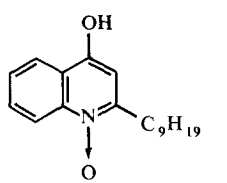
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Азотистоводородная кислота (азид водорода)	HN_3 *M* 43,0	Бесцв. жидк. pK_a 4,72. Раств-сть: свободная кислота ∞ H_2O; р. EtOH. При 10^{-3} М ингибирует каталазу, Fe-ферменты; при 10^{-4} М разобщает фосфорилирование; ингибирует выделение O_2 при фотосинтезе. Неэффективен при щел. pH. Надо использ. HCN или H_2S при щелоч. pH.
Na-соль (азид натрия)	NaN_3 *M* 65,0	Бесцв. крист. Раств-сть: х. р. H_2O; н. р. эф.
3-Амино-1H-1,2,4-триазол (амитрол; амизол)	 *M* 84,1	Бесцв. крист. из EtOH. $t_{пл}$ 159. Раств-сть: 28^{23} H_2O; р. EtOH, MeOH, $CHCl_3$; н. р. эф., ац. При $2 \cdot 10^{-2}$ М в присутствии H_2O_2 необратимый ингибитор каталазы; не оказывает влияния на пероксидазу. Ингибирует δ-аминолевулинат-синтетазу, р-ции циклизации, приводящие к β-каротину (накапливается δ-каротин). При 10^{-4} М вызывает хлороз, разрушение мембран хлоропластов; блокирует образование белковой 18 S-фракции I и хлоропластной ДНК; блокирует образование 70 S-рибосом. Ингибирует биогенез рибофлавина. Коммерческий препарат использ. как гербицид и хлопковый дефолиант; обычно содержит примеси, антиингибирующие каталазу.
Амитал, Na-соль (5-этил-5-изоамилбарбитурат натрия; барбамил; амобарбитал)	 *M* 248,3	Бел. гигр. порошок. Раств-сть: х. р. H_2O; о. п. р. эф. При 10^{-3} М ингибирует $NaDH_2$-окисляющие ферменты и др. флавопротеины, при 10^{-2} М – сукцинатдегидрогеназу. Воздействует на те же центры, что и ротенон и пирицидин А (*см.*), но конц. должна быть значительно выше, чем конц. двух последних. Неспецифичен. См. обзор

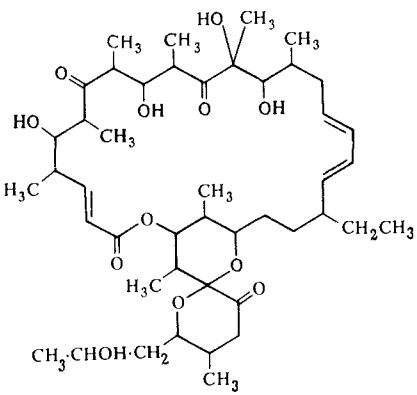
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		[Adv. Enzymol. **34**, 79 (1971)]. Может также ингибировать р-ции с переносом энергии по месту фосфорилированиия NAD-флавопротеинов.
Антимицин	 Антимицин A_1: R – *н*-гексил *M* 548,6 Антимицин A_3: R – *н*-бутил *M* 520,6	Бесцв. крист. Раств-сть: A_1 х. р. ац., эф., EtOH; почти н. р. H_2O; A_3 х. р. ац., $CHCl_3$; р. EtOH, MeOH; почти н. р. H_2O. Специфично ингибирует электронный транспорт между цитохромами *b* и *c*, при ~ 0,5 мкМ ингибирует на 50%. Антимицин состоит из 4 компоиентов, все имеют почти одинаковую активность.
Атебрин гидрохлорид (акрихин; атаброин; мепакрин; хинакрин; SN 390)	 Гидрат (+2H_2O): *M* 508,9	Желт. иглы. $t_{пл}$ 248 (разл.). pK_a 7,7; 10,3. Раств-сть: гидрохлорид р. H_2O, MeOH, EtOH; н. р. эф., ац.; основание м. р. H_2O. Интеркалирует в ДНК. При 10^{-4} М ингибирует некоторые флавопротеиновые ферменты. При 10^{-3} М разобщает окислительное и фотофосфорилирование. Ингибирует АТРазу. Противомалярийное действие.
Атразин (2-хлоро-4-этиламино-6-изопропиламин-*симм*-триазин; гезаприм)	 *M* 215,7	Тв. в-во. $t_{пл}$ 171 ÷ 174 (173–175). Уст. в слабокисл. или щел. средах. Раств-сть: $0{,}007^{25}$ H_2O; 1,2 эф.; $1{,}8^{27}$ MeOH. Селективный гербицид для борьбы с широколистными и травянистыми сорняками. Зерно быстро детоксифицируется благодаря образованию конъюгата атразина с глутатионом [Rec. Adv. Phytochem. **5**, 239 (1972)]. Ингибирует фотосинтез (при $5 \cdot 10^{-7}$ М на 50%) на редуцирующей стороне ФСII, в тех же центрах, что и фенилмочевины и 2-*н*-гептил-4-гидроксихинолин-N-оксид, по-видимому, между Q и цитохромом b_{559}. Низкие конц. (1 мкМ) увел. кол-во нитратредуктазы [Phytochem. **17**, 1021 (1978)]. Для крыс $ЛД_{50}$ (перорально) 3 г/кг. В рецептурах обычно содержится симазин (т. е. 2-хлоро-4,6-бис(этиламин)-*симм*-триазин (*M* 201,7); практ. н. р. H_2O (~ $3 \cdot 10^{-5}$ М)). Атразин раств. в ~ 10 раз лучше.
Ауровертин B	 *M* 460,5	Св.-желт. крист. Раств-сть: р. EtOH; н. р. H_2O. Связывается с митохондриальной АТРазой, предотвращая перенос фосфорильной гр. и, следовательно, окислительное фосфорилирование; эффективен на изолированном ферменте. Не такой сильный митохондриальный ингибитор, как олигомицин (*см.*) [Biochem. **3**, 1961 (1964); Fed. Proc. **34**,

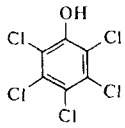
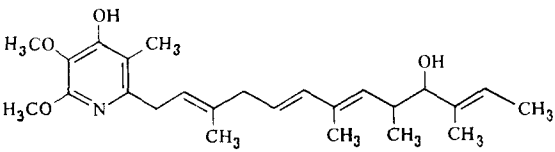
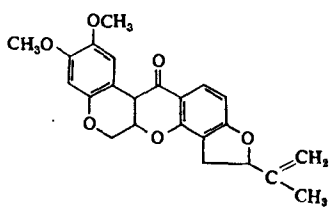
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		1707 (1975); Adv. Enzymol. **49**, 223 (1979)]. Определение конц. в EtOH-раств. см. [BBA **462**, 422 (1977)] (величины светопогл. при 367,5 нм приведены для 28,5 $мМ^{-1}$ $см^{-1}$). Структуру см. [JCS Chem. Comm. 874 (1974)]. Ауровертин D отличается от ауровертина B только тем, что гр. *втор*-OH заменена на H.
2-*н*-Гептил-4-гидроксихинолин-N-оксид (HOQNO)	 *M* 259,4	Бел. крист. из EtOH. $t_{пл}$ 158 ÷ 160. ε_{253} (в 10^{-3} M NaOH) 24000; ε_{346} (10^{-3} M NaOH) 9500. Раств-сть: р. EtOH; о. п. р. H_2O. Исходный раств. готовят в 0,01 M NaOH (50 мкг/мл), а также в H_2O (10^{-5} M, pH 7 и $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ M, pH 9). При 10^{-5}–10^{-8} M ингибирует цитохромные системы по цитохрому *b* или вблизи него. В хлоропластах при 10^{-5} M ингибирует электронный транспорт на 50%; по действию аналогичен ДХММ. Активен против некоторых бактериальных систем, не ингибируемых антимицином.
Гидроксамовые кислоты		Специфические ингибиторы для CN-независимого пути [Plant Physiol. **47**, 124 (1971)] (50%-ное ингибирование при 0,03 мМ (mCLAM), 0,02 мМ (mIBM), и 0,06 мМ (SHAM) в митохондриях маша); ингибирует также пероксидазу [JBC **248**, 502 (1973)], тирозиназу [Plant Physiol. **59**, 60P (1977)] и липоксигеназу [Plant Physiol. **62**, 470 (1978)].
м-Иодобензгидроксамовая кислота (mIBM)	 *M* 263,0	$t_{пл}$ 177 (разл.).
м-Хлоробензгидроксамовая кислота (mCLAM)	 *M* 171,6	
Салицилгидроксамовая кислота (N-2-дигидроксибензамид; SHAM)	 *M* 153,1	
Гидроксиламингидрохлорид (хлорид гидроксиаммония)	$NH_2OH \cdot HCl$ *M* 69,5	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 151. pK_a 6,2. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH; н. р. эф. Ингибирует каталазу; при 10^{-4} M ингибирует также выделение O_2 в процессе фотосинтеза. Ингибирует также алкогольдегидрогеназу и витамин B_6-зависимые ферменты. Карбонильный реагент, образующий оксимы.

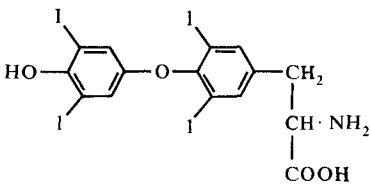
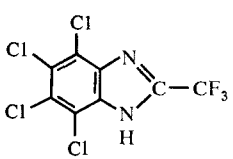
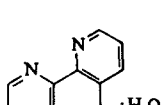
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Госсипол (1,1′,6,6′,7,7′-гексагидрокси-3,3′-диметил-5,5′-диизопропил(2,2′-динафталин)-8,8′-дикарбоксальдегид; 2,2′-бис(8-формил-1,6,7-тригидрокси-5-изопропил-3-метилнафталин))	 *M* 518,5	Желт. пигмент. Раств-сть: р. MeOH, EtOH, эф., $CHCl_3$; о. п. р. петр. эф.; н. р. H_2O. Легко раств. (с медл. разл.) в разб. водн. раств. NH_3 и Na_2CO_3. Токсичен для нежвачных животных. Для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ 2,6 г/кг. Может быть использован как мужской контрацептив. При $2 \cdot 10^{-5}$ М нарушает функционирование митохондрий сердца быка на 50%. При $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ М ингибирует сукциноксидазу (из сои) на 100%, при $7{,}5 \cdot 10^{-3}$ М – сукциндегидрогеназу, при $2 \cdot 10^{-3}$ М – цитохромоксидазу [Plant Physiol. **41**, 787 (1966); **43**, 1996 (1968)].
2,5-Дибромо-3-метил-6-изопропил-*n*-бензохинон (дибромотимохинон; ДБМИБ; DBMIB)	 *M* 322,0	Специфический ингибитор (при $2 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-7}$ М на 50%) окисления пластохинона, блокирующий электронный поток от ФСII к ФСI. Ингибирования восстановления индофенола или феррицианида в ФСII не происходит. Ингибирования циклического фотофосфорилирования через феназинметосульфат не происходит. Ингибирование можно обратить добавлением пластохинона. Ингибирует окисление убихинола; ингибирование может быть обращено добавлением избытка убихинона. Ингибирует окисление сукцината и NADH в митохондриях. Предотвращает восстановление cyt. b_{522}. Не влияет на cyt. c_1, c или aa_3 [ARB **46**, 439 (1977)].
Дикумарол (бисгидроксикумарин; дикумарин; ди-(4-гидроксикумаринил-3)метан)	 *M* 336,3	Бел. крист. $t_{пл}$ 287 ÷ 293. Раств-сть: р. щел.; м. р. $CHCl_3$; н. р. H_2O, EtOH, эф. При $2 \cdot 10^{-5}$ М разобщает окислительное фосфорилирование; ингибирует синтез целлюлозы путем блокирования переноса олигосахарида от долихол-P-P-олигосахарида к белковому акцептору [FEBS Lett. **86**, 259 (1978)]; ингибирует витамин K-редуктазу. В медицине использ. как антикоагулянт. Действует, конкурентно препятствуя утилизации печенью витамина K при синтезе протромбина. Не влияет на др. функции печени.
2,4-Динитрофенол	 *M* 184,1	Желт. пластинки $t_{пл}$ 111. pK_a 4,1. Раств-сть р. бенз.; м. р. EtOH, эф.; 0,56[18] H_2O. При $10^{-5} - 10^{-4}$ М разобщает окислительное фосфорилирование, переправляя поток протонов через внутреннюю митохондриальную мембрану; стимулирует митохондриальную АТРазу. При pH 6 даже при 10^{-3} М наблюдается лишь незначи-

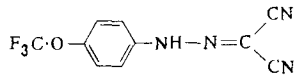
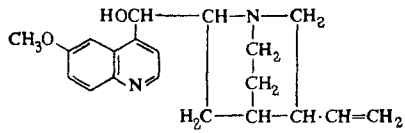
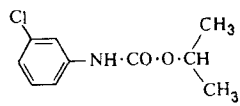
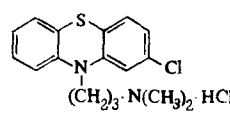
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		тельное разобщение хлоропластов. Не разобщает фосфорилирование на субстратном уровне. Сравнение 28 фенолов в качестве разобщителей см. [EJB **21**, 565 [1971)].
α,α′-Дипиридил	 *M* 156,2	$t_{пл}$ 70. Раств-сть: х. р. EtOH, эф., $CHCl_3$; м. р. H_2O. При 10^{-8} М может ингибировать Fe^{2+}-ферменты. См. также разд. 17, А «Хелатирующие агенты».
3,5-Ди-*трет*-бутил-4-гидроксибензилиденмалононитрил (SF 6847)	 *M* 282,4	При 0,03 мкМ (<0,2 молекулы на дыхательную цепь) разобщает [BBA **387**, 507 (1975)].
3-(3,4-Дихлорофенил)-1,1-диметилмочевина (ДХММ; DCMU; диурон)	 *M* 233,1	Бел. крист. $t_{пл}$ 158 ÷ 159. $t_{разл}$ 180 ÷ 190. Раств-сть: о. п. р. H_2O ($42 \cdot 10^{-4}$%); о. п. р. углеводороды; 5,3 ац. Мощный и специфический ингибитор р-ции Хилла; при $5 \cdot 10^{-8} - 10^{-7}$ М ингибирует на 50% электронный транспорт в изолированных хлоропластах; для интактных клеток водорослей необходима конц. в 10 раз большая. Ингибирование (полн. обратимое) наиболее ярко выражено при скоростьлимитирующих (низких) интенсивностях света. Центр ингибирования ассоциирован с электронным акцептором Q. При более высоких конц. (> 10^{-4} М) вторичный эффект – ингибирование ФСI-независимого циклического фотофосфорилирования (по-видимому, через разобщение). Многие близкие по структуре соединения, такие, как хлорофенилкарбаматы (*см.* ХИФК) и ацилхлоранилиды [Plant Physiol. **36**, 788 (1961)],- мощные ингибиторы, действующие по тому же центру. Гербицид. Обезвреживается N-деметилированием [Rec. Adv. Phytochem. **5**, 225 (1972)].
N,N′-Дициклогексилкарбодиимид (ДЦКД; DCCD)	 *M* 206,3	$t_{пл}$ 34 ÷ 35. Раств-сть: р. EtOH, CH_2Cl_2. Ингибитор связанной с мембраной АТРазы [BBA **233**, 521 (1971); **241**, 334 (1971)]. Конденсирующий агент, использ. при пептидном синтезе. Реагент для спектрофотометричного определения карбоновых кислот [Anal. Chem. **47**, 34 (1975)]. Раздражает слизистые оболочки.

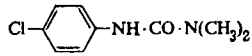
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Диэтилстильбэстрол (*транс*-4,4′-дигидрокси-α,β-диэтилстильбен; стильбоэстрол; *транс*-3,4-ди(*п*-гидроксифенил)гексен-3; DES)	 *M* 268,3	Бел. крист. порошок. $t_{пл}$ 169 ÷ 172. Раств-сть: р. разб. водн. щел., ац., эф., $CHCl_3$, растительные масла; н. р. H_2O. Разобщает окислительное фосфорилирование [ABB **117**, 573 (1966)]. Ингибирует Na/K-АТРазу [Metabolic Inhibitors, vol. III]. Ингибирует АТРазу плазменной мембраны в растениях [Plant Sci. Lett. **10**, 319 (1977)]. Синтетический эстроген. Использ. в заместительной терапии. Не накапливается в жировых тканях. Легко абсорбируется в ж. к. т., ~ 20% экскретируется с мочой (в конъюгированном виде).
Карбонилцианидфенилгидразон (фенилгидразонмалононитрил; КЦФ; CCP)	 *M* 170,1	pK_a 6,55. Раств-сть: р. EtOH, MeOH; ум. р. H_2O ($< 10^{-4}$ М). Разобщает окислительное фосфорилирование (при 0,4 мкм на 50%) и фотофосфорилирование.
Карбонилцианид-*м*-хлорофенилгидразон (КЦХФ; CCCP)	3-Cl-CCP (3-Cl-КЦФ) *M* 204,6	$t_{пл}$ 175 ÷ 177 (разл.). pK_a 6,0. При 0,06 мкМ разобщает окислительное фосфорилирование (митохондрии) на 50%; при 10^{-6}–10^{-5} М (макс. эффект) наблюдается разобщение в хлоропластах. Более высокие конц. оказывают сильн. ингибирующее действие на электронный транспорт.
Мышьяковистая кислота (мышьяковистый ангидрид; димышьяктриоксид; арсенолит)	As_2O_3 ($As_2O_3 + 3H_2O \rightleftarrows 2As(OH)_3$) *M* 197,8	Бел. порошок. Субл. 193. pK_a 9,22. Раств-сть: р. кисл., щел.; м. р. H_2O (2^{25}, $11{,}5^{100}$); м. р. EtOH, эф. При 10^{-4} М ингибирует дегидрогеназы, содержащие дитиолы, напр. α-кетоглутаратдегидрогеназу, а также разобщает окислительное фосфорилирование. Для получения реагента арсенит растворяют в щел. Использ. для борьбы с сорняками, пестицид.
Na-соль (метаарсенит натрия	$NaAsO_2$ *M* 129,9	Бел. гигр. порошок. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH. Коммерчески доступная соль; как правило, не пригодна для прямого использ. в биохим. экспериментах.
2-*н*-Нонил-4-гидроксихинолин-N-оксид	 *M* 287,4	Бел. крист. из EtOH. $t_{пл}$ 148 ÷ 149. Раств-сть: р. EtOH; о. п. р. H_2O. Исходный раств. 5 мкг/мл готовят в 0,001 М NaOH. Как 2-*н*-гептил-4-гидроксихинолин-N-оксид, но в 3–10 раз более активный. В хлоропластах при 10^{-6} М ингибирует электронный транспорт на 50%. Коммерчески доступен; менее раств., чем 2-*н*-гептил-4-гидроксихинолин-N-оксид (различия в 10 раз).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Оксид углерода (моноксид углерода)	CO *M* 28,0	Бесцв. газ. $t_{кип}$ −190. Раств-сть: р. бенз., раств. Cu_2Cl_2; м. р. H_2O ($\alpha = 0{,}02$ при 20°C). Ингибирует широкий набор металлоферментов, включая гидрогеназу и гемоглобины (при низких конц.) и цитохромоксидазу (при концентрации 50–95% в газовой фазе). CO-ингибирование, обратимое под действием света, характерно для цитохромоксидазы и др. гемсодержащих белков. Карбонилы Cu^+ и др. металлов не чувствительны к свету. *Осторожно*! Моноксид углерода сильно токсичен для многих живых тканей и микроорганизмов.
Олеиновая кислота	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$ *M* 282,5	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 14. Раств-сть: ∞ EtOH, эф.; р. бенз.; н. р. H_2O. Разобщает окислительное фосфорилирование. Ингибирует 2,4-динитрофенолстимулируемую АТРазу. Активен при 120 мкмоль/г белка. Действие обращается добавлением сывороточного альбумина. *См. также* Липиды.
Олигомицин B	 *M* 805,1	λ_{max} (EtOH) 225 нм ($\varepsilon \sim 20000$). Раств-сть: 0,002 H_2O; р. EtOH. Ингибирует митохондриальную АТРазу (F_1), препятствуя переносу фосфорильной гр.; ингибирует только связанную с мембраной, а не изолированную форму. При $\lesssim 1$ мкг/мг белка ингибирует на 50%. Ингибирует Na^+/K^+-АТРазу [JBC **243**, 1993 (1968)]. См. обзор [Fed. Proc. **34**, 1707 (1975)]. Рутамицин – 26-деметил-28-дезоксиолигомицин B.
Ортомышьяковой кислоты Na-соль (арсенат натрия)	$Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$ Гидрат: *M* 312,0	Бесцв. монокл. крист. $t_{пл}$ 120 ÷ 130. pK_a 2,25; 6,77; 11,53. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH. При 10^{-2} М разобщает окислительное фосфорилирование на субстратном уровне; разобщение возрастает с увел. времени действия и не является полным. Вместо фосфоролиза происходит арсенолиз.

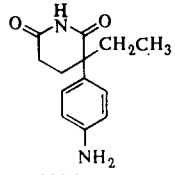
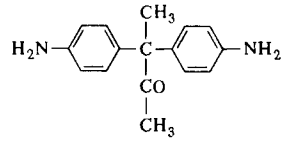
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Пентахлорофенол	 *M* 266,4	Иглоподобные крист. $t_{пл}$ 190 ÷ 191. pK_a 4,89. Раств-сть: 0,008 H_2O; р. EtOH, эф.; м. р. хол. петр. эф. Действует при концентрации ~ 2 мкМ и pH 6 [EJB 21, 565 (1971)]. При 10^{-5} М сильный ингибитор электронного транспорта. Для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ 0,2 г/кг. Использ. как доурожайный дефолиант, гербицид общего действия.
Пептенилгуанидинсульфат (галегинсульфат; 4-метил-3-бутенилгуанидинсульфат)	$(NH_2)_2C{:}NCH_2CH{=}C(CH_3)_2 \cdot H_2SO_4$ *M* 225,3	Бесцв. крист. Раств-сть: р. EtOH; м.р. H_2O. Ингибирует окислительное фосфорилирование по месту, расположенному между NAD и цитохромом *b*. Ингибирующее действие родственных алкилгуанидинов увел. с длиной цепи алкильной гр.
Пирицидин А	 *M* 400,6	Раств-сть: р. EtOH. Структурный аналог убихинона. Ингибирует окисление митохондриями связанных с NAD субстратов по тому же центру, что и ротенон (*см.*); при ~ 10 пмоль/мг белка ингибирует на 50%. Инсектицид. Механизм действия см. [JBC **243**, 834 (1968)]; см. обзор [Adv. Enzymol. **34**, 79 (1971)].
Ротенон	 *M* 394,4	Бесцв. пластинки. $t_{пл}$ 165. Раств-сть: р. EtOH, ац., эф.; почти н.р. H_2O. Ингибирует окисление митохондриями связанных с NAD субстратов по О-центру NADH-дегидрогеназы; при ~ 10 пмоль/мг белка ингибирует на 50%. Инсектицид, выделяемый из корня дерриса. Разл. на свету и под действием возд.; раств. в орг. раств-лях окисляются с окрашиванием. Действует по тому же центру, что и пирицидин (*см.*). Механизм действия см. [JBC **243**, 834 (1968)]; см. обзор [Adv. Enzymol. **34**, 79 (1971)].
Сероводород (дигидрид серы)	H_2S *M* 34,1	Бесцв. газ. $t_{кип}$ −62. pK_a 7,04; 14,9. Раств-сть: газ р. CS_2; м.р. H_2O. При 10^{-3} М ингибирует металлоферменты. Некарбонильный реагент. Сульфид поглощается при дыхании некоторыми тканями и микроорганизмами.

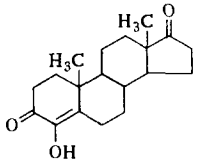
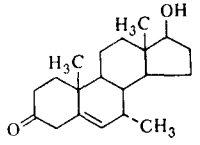
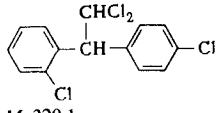
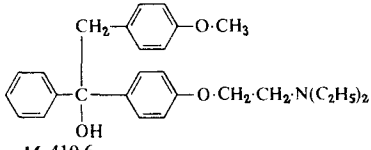
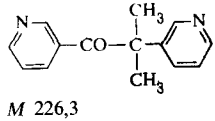
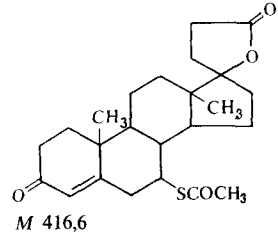
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Na-соль (сульфид натрия)	$Na_2S \cdot 9H_2O$ Гидрат: *M* 240,2	Бесцв. распл. крист. Раств-сть: р. H_2O; н. р. эф.
Тироксин	 *M* 776,9	Бел. иглы. $t_{пл}$ DL 231 ÷ 233 (разл.); L 235 ÷ 236 (разл.). Раств-сть: р. разб. щел.; н. р. H_2O, EtOH и орг. раств-ли. При $5 \cdot 10^{-5}$ М разобщает митохондриальное окислительное фосфорилирование. Необходима предварительная инкубация с митохондриальными частицами, может влиять на их структуру. *См. также* разд. «Аминокислоты».
4,5,6,7-Тетрахлоро-2-трифторометилбензимидазол (ТТФБ; TTFB)	 *M* 323,9	pK_a 5,6. При 0,03 мкМ в митохондриях сердца крысы разобщает окислительное фосфорилирование на 100% [BJ **98**, 284 (1966)]. Ингибирует хлоропластный электронный транспорт в районе ФСII.
Трибутилоловохлорид	$[CH_3(CH_2)_3]_3Sn^+Cl^-$ *M* 325,5	$t_{кип}$ 171 ÷ 173 (25 мм Hg). При 0,8 мкМ разобщает на 50%. Блокирует дыхание в некоторых системах, но обеспечивает максимальный уровень дыхания и разобщения в присутствии NAD^+. Триалкилсвинец вызывает аналогичные эффекты. В хлоропластах при 10^{-7} М ингибирует фосфорилирующий транспорт электронов. Не влияет на АТРазу.
1,10-Фенантролин (*о*-фенантролин)	 Гидрат ($+1H_2O$): *M* 198,2	Бел. крист. порошок. $t_{пл}$ гидрата 93 ÷ ÷ 94; безводн. 117. pK_a 4,96. Раств-сть: р. EtOH, эф.; м. р. H_2O, бенз. Ингибирует выделение O_2 при фотосинтезе (при 10^{-5} М на 50%), вероятно, путем образования хелатов с Zn или Mn; при 10^{-8} М ингибирует некоторые Fe-ферменты; ингибирует глутаматдегидрогеназу. При 0,5 мМ ингибирует убихинол-цитохром *c*-редуктазу только на 28%; разобщители не оказывают влияния на ингибирование [ARB **46**, 452 (1977)]. *См. также* разд. 17, А «Хелатирующие агенты».
Фенилуретан (фенилэтилкарбамат; этилкарбанилат)	$C_6H_5NHCOOC_2H_5$ *M* 165,2	Бел. крист. $t_{пл}$ 52 ÷ 53. Раств-сть: р. EtOH, эф.; м. р. H_2O. При 10^{-3} ÷ ÷ 10^{-4} М ингибитор выделения O_2 при фотосинтезе; *см.* ХИФК.

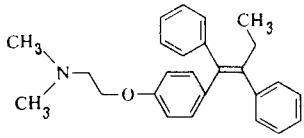
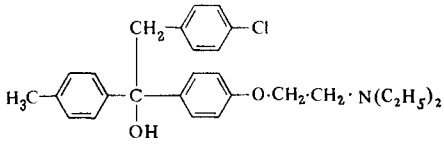
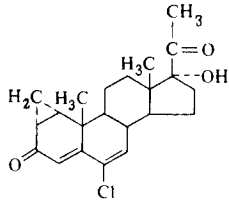
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие да
ФКЦФ (FCCP; *п*-трифторометоксикарбонилцианидфенилгидразон)	 *M* 254,2	$t_{пл}$ 173. pK_a 5.8. Уст. при 4°С. в-сть: р. EtOH, MeOH; ум. р. H_2O ($< 10^{-4}$ М). При 0,04 мкМ разобщает окислительное фосфорилирование на 50%. 1 моль ФКЦФ связывается с центром II и центром III, 14 молей связывается с центром I. Увел. электронную проводимость модельных фосфолипидных мембран. In vitro инактивируется вицинальными аминотиолами (напр., цистеамином или свободным цистеином) и дитиолами (димеркапролом).
Хинин	 *M* 324,4	Бел. иглы (люминесценция при механич. нагрузках) из EtOH. $t_{пл}$ 177 (разл.). pK_a 4,13; 8,3. Раств-сть: х. р. EtOH; м. р. эф.; о. п. р. H_2O; гидрохлорид х. р. H_2O. При 10^{-3} М ингибирует некоторые флавопротеиновые ферменты. Ингибирует также холинэстеразы. Обладает противомалярийным действием.
ХИФК (CIPC; хлоро-ИФК; изопропил-N-(3-хлорофенил)карбамат; хлорпрофам; изопропил-N-*м*-хлорофенилкарбамат)	 *M* 213,7	Бел. тв. в-во. $t_{пл}$ 41 ÷ 44 (38–40). $t_{разл}$ 150. Раств-сть: $0{,}01^{25}$ H_2O; р. эф. Ингибитор фотосинтеза на редуцирующей стороне ФСII; по своему действию аналогичен фенилмочевинам (*см.*). Митотический яд, действующий подобно колхицину [Plant and Cell Physiol. **8**, 613 (1967)]. Использ. как ингибитор прорастания картофеля и при более высоких конц. как гербицид. Известны др. фенилуретаны, имеющие такое же использ.: ИФК (изопропил-N-фенилкарбамат), барбан (4-хлоро-2-бутирил-N-(3-хлорофенил)карбамат), БХФК (*втор*-бутил-N-(3-хлорофенил)карбамат). Для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ ХИФК 5–7,5 г/кг.
Хлорпромазин (ларгактил)	 Гидрохлорид: *M* 355,3 Свободное основание: *M* 318,9	Бел. крист. $t_{пл}$ 179 ÷ 180 (разл.). Раств-сть: х. р. H_2O; р. MeOH, EtOH; н. р. эф. При 10^{-3}–10^{-4} М разобщает и ингибирует окислительное фосфорилирование [BJ **72**, 204; **73**, 16 (1959)]. Оказывает седативное действие (см. разд. 14). Взаимодействие фенотиазиновых психотропных средств с кальмодулином см. [Biochem. Pharmacol. **31**, 2217 (1982); *Roufogalis B.D.*, Specificity of trifluoperazine and related phenothiazines for calcium binding proteins, in: Calcium and cell function, vol. 3, Cheung W.Y. (ed.), Academic Press, New York (1982)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
3-(*n*-Хлорофенил)-1,1-диметилмочевина (ХММ; CMU; монурон; N-(4-хлорофенил)-N′,N′-диметилмочевина)	 *M* 198,7	Бел. призмы из MeOH. $t_{пл}$ 171 (176). Раств-сть: 5^{27} EtOH; р. MeOH, ац.: $0{,}023^{25}$ H_2O. При 10^{-6}–10^{-7} М ингибирует стадию выделения O_2 в процессе фотосинтеза. Гербицид, подавитель цветения сахарного тростника. Для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ 3,6 г/кг. *См.* ДХММ.
Циановодород (циановодородная кислота; синильная кислота)	HCN *M* 27,0	Бесцв. жидк. или газ. $t_{пл}$ −14. $t_{кип}$ 26. pK_a 9.14. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH; м. р. эф. Ингибирует путем образования комплексов с металлами, входящими в состав металлоферментов (напр., при $10^{-3} \div 10^{-5}$ М цитохромоксидазу), или путем образования циангидринов с карбонильными гр. Контроль металлингибирующей активности с помощью азида, CO или сероводорода. Можно вдыхать довольно высокие конц. цианида. Активной формой является недиссоциированная кисл.
К-соль (цианид калия)	KCN *M* 65,1	Бесцв., распл. крист. Раств-сть: х. р. H_2O; р. EtOH.

Д. Ингибиторы синтеза и функции стероидов

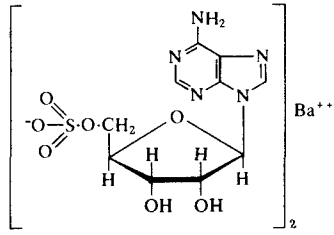
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Аминоглутетимид (2-(*n*-аминофенил)-2-этилглутаримид)	 *M* 232,2	Крист. из MeOH или Et-ацетата. $t_{пл}$ 149 ÷ 150. Раств-сть: гидрохлорид р. H_2O. Ингибирует превращение холестерина в прегненолон и др. стероид-гидроксилазные активности (20, 21, 22, 19, 18, 11β). В клинической практике находит ограниченное применение в качестве ингибитора секреции кортикоидов.
Амфенон В (3,3-бис(*n*-аминофенил)бутанон-2)	 *M* 254,3	Крист. $t_{пл}$ 138. Раств-сть: ди-HCl р. H_2O, EtOH. Ингибирует р-ции гидроксилирования и т. обр. продукцию кортикоидов корой надпочечников. In vivo много побочных р-ций.

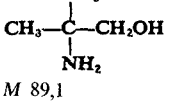
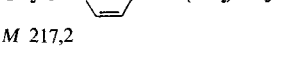
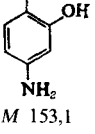
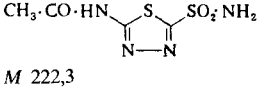
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
4-Гидроксиандростендион-3,17	 *M* 302,4	Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. Ингибитор ароматазы. Др. эффективные ингибиторы ароматазы: андростриен-1,4,6-дион-3,17-5α-дигидротестостерон, 7α-*n*-аминотиофениландростендион, ацетат тестостерона и 4-ацетоксиандростен-4-дион-3,17 [Biology of Reproduction **18**, 365 (1978)].
17β-Гидрокси-7α-метиландростен-5-он-3 (RMI 12936)	 *M* 302,4	Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. Конкурентный ингибитор ен-5-он-3-стероидизомеразной активности [Acta Endocrinol. **88**, 157 (1978)]. Др. эффективные ингибиторы: 6-дегидротестостерон, цианокетон и трилостан [Steroids **32**, 257 (1978)].
1,1-Дихлоро-2-(*o*-хлорофенил)-2-(*n*-хлорофенил)этан (*o,p'*-DDD; митотан)	 *M* 320,1	Крист. из пентана или MeOH. $t_{пл}$ 76 ÷ 78. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, изооктан, CCl_4. Ингибитор адренокортикальной функции.
1-[*n*-(2-Диэтиламиноэтокси)фенил]-1-фенил-2-(*n*-метоксифенил)этанол (MER 25; этамокситрифетол)	 *M* 419,6	$t_{пл}$ 104 ÷ 106. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, $CHCl_3$. Сильно ингибирует действие стероидных и нестероидных эстрогенов.
Метирапон (метопирон; 2,3-бис(3-пиридил)-2-метилпропанон-3; SU 4885)	 *M* 226,3	Крист. из эф.–пентан. $t_{пл}$ 50 ÷ 51. Ингибирует 11β-гидроксилирование, осуществляемое in vivo корой надпочечников, и т. обр. изменяет продукцию кортикоидов. Многие побочные действия на др. эндокринные железы.
Спиронолактон (γ-лактон 17-гидрокси-7-ацетиооксиз-21-карбокси-17α-прегнен-4-она-3; альдактон, верошпирон)	 *M* 416,6	Крист. из MeOH. $t_{пл}$ 134 ÷ 135. λ_{max} 238 нм (lg ε 4,30). Раств-сть: н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. Конкурентный антагонист действия альдостерона. Широко использ. как К-сохраняющий диуретик и противогипертонический агент.

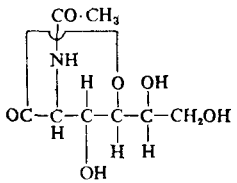
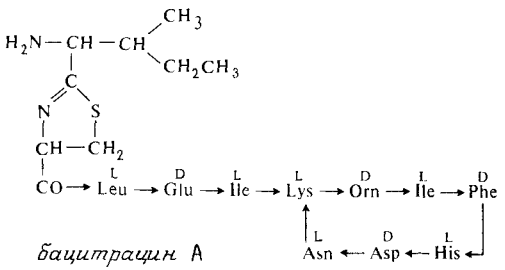
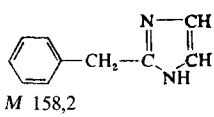
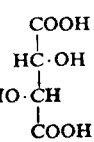
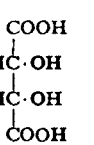
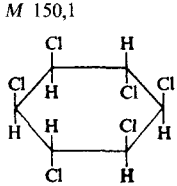
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Тамоксифен (1-(*n*-β-диметиламиноэтоксифенил)-*транс*-1,2-дифенилбутен-1, ICI 46474 (цитрат))	 *M* 371,5	Крист. $t_{пл}$ 96 ÷ 98. Антиэстроген трифеиилэтиленового типа. Образует комплекс с эстрогеновым рецептором, который конкурирует за ядерные акцепторные центры [Molec. Cell Endocr. 7, 177 (1977)].
Трипаранол (MER 29; 1-[*n*-(2-диэтиламиноэтокси)-фенил]-1-(*n*-толил)2-(*n*-хлорофенил)этанол)	 *M* 438,0	Крист. $t_{пл}$ 102 ÷ 104. Вызывает блокирование синтеза холестерина in vivo из мевалоната с накоплением десмостерола.
Ципротерон (6-хлоро-17-гидрокси-1α,2α-метиленпрегнадиен-4,6-дион-3,20)	 *M* 374,9	Крист. из Et-ацетата. $t_{пл}$ 237,5 ÷ 240. λ_{max} 281 нм (lg ε 4,24) в MeOH. Ацетат: крист. из диизопропилового эфира; $t_{пл}$ 200 ÷ 201. Мощный аитиандроген.

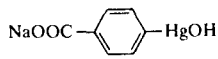
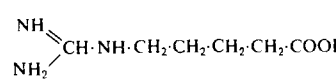
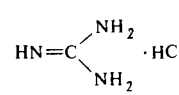
Е. Другие ингибиторы ферментов

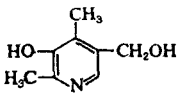
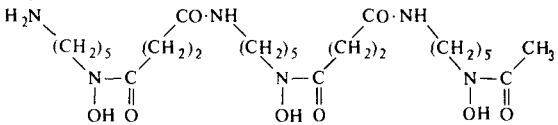
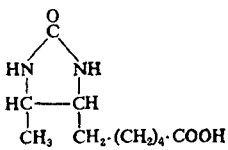
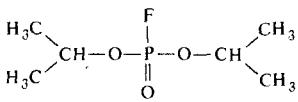
В этот раздел включены некоторые аналоги витаминов, механизм действия которых до сих пор неизвестен.

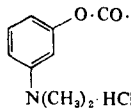
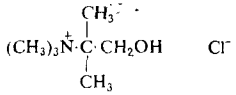
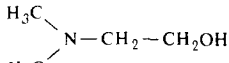
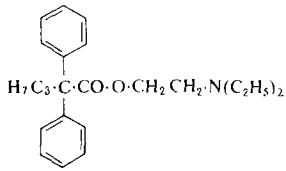
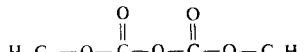
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Аденозии-5′-моносульфат, Ва-соль	 *M* 830,0	Бесцв. крист. Раств-сть: р. H_2O. При 10^{-3} М ингибирует аминокислотную оксидазу путем конкурирования с остатком аденилата FAD.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
2-Амино-2-метилпропанол	 *M* 89,1	Крист. (или вязкое масло). $t_{пл}$ 30. Раств-сть: ∞ H_2O; р. EtOH. Антагонист холина у крыс, судя по изменениям в почках. Ингибирует холиноксидазу in vitro.
α-Аминометоксифенилметансульфоновая кислота (1-амино-1-(*п*-метоксифенил)-метансульфоновая кислота; AMPS)	 *M* 217,2	Ингибирует захват вируса гриппа хориоаллантоиновыми клетками.
α-Аминооксиуксусная кислота (О-(карбоксиметил)-гидроксиламин)	H_2NOCH_2COOH *M* 91,1 Гидрохлорид ($+{}^1/_2$ HCl): *M* 109,3	Гидрохлорид: крист. $t_{пл}$ 156. Общий ингибитор пиридоксальфосфатзависимых ферментов (аминокислотные трансаминазы и декарбоксилазы) [BJ **171**, 771 (1978)]. При 0,5 мМ ингибирует продуцирование антоцианина у растений [Phytochem. **18**, 585 (1979)].
п-Аминосалициловая кислота (PAS)	 *M* 153,1	Бел. порошок. $t_{пл}$ 150. Раств-сть: р. EtOH; м. р. H_2O. Антагонист *п*-аминобензойной кислоты в туберкулезных бациллах. Может замещать ее в некоторых штаммах *E. coli*. Может включаться в молекулы соединений, подобных фолиевой кисл.
Аминофиллин (дитеофиллинэтилендиамин; соединение 3,7-дигидро-1,3-диметил-1Н-пуриндиона-2,6 с 1,2-диаминоэтанолом)	$(Теофиллин)_2 \cdot C_2H_4(NH_2)_2$ *M* 420,4 Дигидрат: *M* 456,5	Дигидрат: бел. или слабо-желт. гранулы или порошок. Раств-сть: 20 H_2O; н. р. EtOH, эф. Метилксантин, ингибирует cAMP-фосфодиэстеразу. *См.* Теофиллин. Хранить плотно закрытым; постепенно поглощает CO_2 из возд. и в результате не полн. раств. из-за образования теофиллина. Раств. может мутиеть при стоянии. Для мышей (перорально) $ЛД_{50}$ 0,5 г/кг.
Антабус (тетраэтилтиурамдисульфид)	 *M* 296,5	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 70. Раств-сть: р. EtOH, $CHCl_3$. Ингибирует окисление ацетальдегида in vivo, вероятно, путем ингибирования глицеральдегиддегидрогеназы. Ингибирует дрожжевую алкогольдегидрогеназу. Использ. для лечения алкоголизма.
Ацетазоламид (5-ацетиламино-1,3,4-тиадиазол-2-сульфонамид; диамокс)	 *M* 222,3	Бел. крист. из H_2O. $t_{пл}$ 258 (разл.). pK_a 7,2. λ_{max} 270 нм, ε 7900. Раств-сть: м. р. H_2O. При 10^{-8} М неконкурентно ингибирует карбоангидразу. Использ. как диуретик.

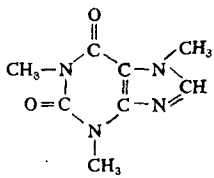
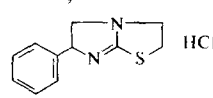
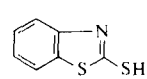
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
N-Ацетилглюкозаминолактон (2-ацетиламино-2-дезоксиглюконолактон)	 *M* 219,2	Бел. порошок. Сильно распл. Раств-сть: р. H_2O. При 10^{-5} М конкурентно ингибирует β-N-ацетилглюкозаминидазу. Альдонолактоны вообще конкурентно ингибируют соответствующие глюкозидазы [BJ **65**, 389 (1957); **82**, 225 (1962)].
Бацитрацин	 *бацитрацин* А *M* 1422,7	Серо-бел. порошок. Раств-сть: х. р. H_2O, MeOH; р. EtOH; м. р. ац., бенз., эф., н. р. $CHCl_3$. Бацитрацины – семейство циклических полипептидов, среди которых главное место занимает бацитрацин А. Ингибирует синтез клеточных стенок. Похож на пенициллин тем, что вызывает образование протопласта и накопление предшественников клеточной стенки. Ингибирует дефосфорилирование пирофосфатиого производного C_{55}-изопренолового спирта [PNAS **57**, 767 (1967)]. Отн. уст. в кисл. раств.: неуст. при pH > 9. Была уточнена структура [Adv. Appl. Microbiol. **24**, 187 (1978)].
2-Бензилимидазол	 *M* 158,2	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 125. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. При 10^{-3} М ингибирует пенициллиназу.
L(+)-Винная кислота (*d*-винная кислота; D(+)-винная кислота) См. [JBC **207**, 275 (1954)]	 *M* 150,1	Бесцв. монокл. крист. $t_{пл}$ 170. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; н. р. бенз. При 10^{-3} М ингибирует кислую фосфатазу (из печени, почек и предстательной железы). D(−)-Изомер неактивен. Фосфатаза из эритроцитов или плазмы не ингибируется, что лежит в основе метода клинической дифференциации.
мезо-Винная кислота (изовинная кислота)	 *M* 150,1	Бесцв. пластинки. $t_{пл}$ 140. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. При 10^{-5} М ингибирует фумаразу.
Гаммексан (линдан; γ-гексахлороциклогексан; гексахлоран; γ-ГХЦГ)	 *M* 290,9	Крист. $t_{пл}$ 113. Раств-сть: х. р. ац.; м. р. EtOH; н. р. H_2O. По-видимому, антиметаболит инозита в *Neurospora* и растениях. Мощный инсектицид. Коммерческие образцы, выпускавшиеся ранее, содержали смесь изомеров; в настоящее время они содержат до 99% γ-изомера.

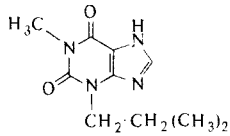
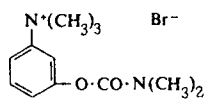
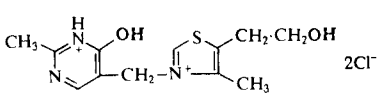
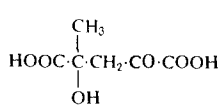
Соединение (синонимы)	Формула и молекуляриая масса	Свойства и другие даиные
Гидроксиламин	NH_2OH *M* 33,0 Гидрохлорид: *M* 69,5	Бел. иглы или бесцв. жидк. $t_{пл}$ 33. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. При 10^{-5} М ингибирует аминокислотные декарбоксилазы, а также γ-аминобутират-α-оксоглутараттрансаминазу, сериновую и треониновую дегидратазы. Ингибирует глюкозооксидазу по неизвестному механизму. Аналогичиое ингибирование происходит под действием многих карбоиильных реагентов, которые взаимодействуют с пиридоксальфосфатом.
n-Гидроксимеркуриобензойная кислота, Na-соль	 *M* 360,7	Аморф. бел. порошок или крист. Раств-сть: р. H_2O, щел.; н.р. кисл. Раств. готовят следующим образом: добавляют небольшое кол-во 0,2 М NaOH, разбавляют H_2O и тщательно нейтрализуют до pH 8. В литературе это соединение часто фигурирует под названием *n*-хлоромеркуриобензоат. *n*-Хлоромеркуриобензойиая кисл. превращается в *n*-гидроксимеркуриобензоат в усл., при которых получают натриевую соль. При 10^{-5} М ингибитор фермеитов. Использ. для титрования —SH-гр. в белках. Скорости р-ций максимальны при pH 4,5 ÷ 5,0, хотя можно работать и при pH, близких к нейтр. В некоторых случаях ингибирование может быть обращено этилендиаминтетраацетатом. Осаждается фосфатом при pH 7. Раств-сть возрастает в присутствии пирофосфата, глицилглицина, триса. Увел. поглощения в УФ-свете при 250–5 нм в результате образования меркаптида, что использ. в анализе —SH-гр. [JACS **76**, 4331 (1954); Meth. Enzymol. **25**, 449 (1972)].
δ-Гуанидинвалериановая кислота	 *M* 160,2	Крист. $t_{пл}$ 265. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. При 10^{-3} М конкурентно ингибирует карбоксипептидазу В. Аналогичным действием обладают δ-аминовалериановая кислота и ε-аминокапроновая кислота, которые также ингибируют плазмин.
Гуанидингидрохлорид (аминоформамидингидрохлорид; хлорид гуанидиния)	 *M* 95,5 Свободное основание: *M* 59,1	Распл. крист. pK_a 13,6. Раств-сть: х.р. H_2O, EtOH; н.р. эф. Раств. свободного основания имеют щел. р-цию; поглощают CO_2 из возд. Раств. гидрохлорида имеют нейтр. р-цию. Использ. в виде 6 М раств. для разрушения РНКаз при экстракции РНК; деградация РНК меньше, чем в случае экстракции фенолом (*см.*). Методика экстракции см. [Meth. Enzymol. **12B**, 120 (1968)]. Хорошо связывает водород. Общий белковый денатурант и солюбилизирую-

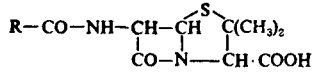
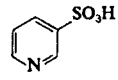
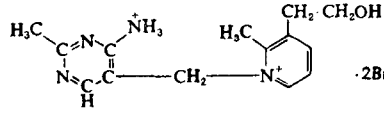
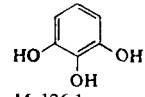
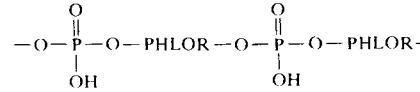
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие даиные
		щий агент для крупных комплексов, структура которых формируется путем образования водородных связей.
4-Дезоксипиридоксин (2,4-диметил-3-гидрокси-5-гидроксиметилпиридин)	 *M* 153,2	Бел. крист. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH. Антипиридоксин у цыплят. Ингибирует рост многих бактерий, которым необходим пиридоксин. В бактериальных клетках фосфорилируется до ингибитора аминокислотных декарбоксилаз.
Дезферриоксамин B (дефероксамин)	 *M* 560,7	Использ. как ингибитор феррохелатазы; образует очень прочные хелатные комплексы с Fe (для Fe^{3+} $K \sim 10^{30}$). Продуцируется микроорганизмами как молекула-переносчик железа. При ~ 500 мкг/мл ингибирует биосинтез гема. Известны др. родственные по структуре соединения [Science **156**, 1443 (1967)]. Дезферриоксаминмезилат (метансульфонат): *M* 656,8; разл. на возд.; более уст. в эксикаторе при 4°C. Использ. свежеприготовленные раств. [JBC **250**, 9215 (1975)].
Дезтиобиотин	 *M* 214,3	Бел. игл. $t_{пл}$ DL 165. Раств-сть: р. H_2O. Конкурирует с биотином при утилизации в *L. casei*, но стимулирует рост *Saccharomyces cerevisiae* в среде с дефицитом биотина. Активен только D-изомер.
Диизопропилфторофосфат (диизопропилфторофосфонат; ДФФ; DFP)	 *M* 184,2	Бесцв. жидк. $t_{кип}$ 183. Раств-сть: р. орг. раств-ли; $1{,}54^{25}$ H_2O. *Внимание!* Чрезвычайно токсичный газ нервно-паралитического действия. Работа требует соблюдения особых мер предосторожности. Может проникать через кожу. Для удаления адсорбированных остатков стеклянную посуду промывают 1 M NaOH в 50%-ном EtOH. Ингибирует сериновые эстеразы путем ковалентного присоединения по сериновому активному центру. При 10^{-7}–10^{-9} M ингибирует псевдохолинэстеразы, при 10^{-3}–10^{-5} M – химотрипсин и трипсин (в качестве ингибиторов последних двух ферментов предпочтительнее использ. менее опасные ФМСФ, ТЛХК и ТФХК (*см.*)) ДФФ обычно хранят в виде исходного раств. в сухом *изо*-PrOH (уст. при −10°C несколько мес). Водн. раств. неуст.

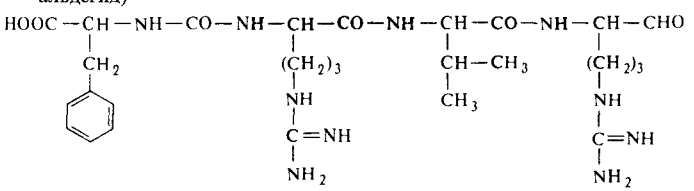
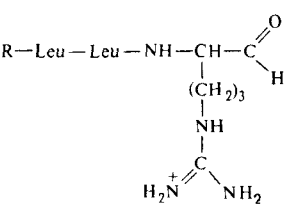
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
м-Диметиламинофенилметилкарбаматгидрохлорид	 *M* 230,7	Бел. призмы. $t_{пл}$ 170. Раств-сть: р. EtOH, ац. При 10^{-6} М ингибирует эстеразу печени.
α,α-Диметилхолинхлорид	 *M* 167,7	Крист. Раств-сть: р. EtOH; н. р. эф. Антиметаболит холина у крыс.
Диметилэтаноламин (диметил-2-гидроксиэтиламин; N,N-диметил-2-аминоэтанол)	 *M* 89,1	Жидк. pK_a 9,24. d_4^{20} 0,887. $t_{кип}$ 135. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф. Аналог холина, включающийся в клеточные фосфолипиды [PNAS **71**, 4072 (1974)]. Ингибитор этаноламинфосфокиназы [BBA **276**, 143 (1972)].
2-Диэтиламиноэтил-2-дифенилпропилацетат (SKF 525-A)	 *M* 353,5	Ингибирует метаболизм лекарств в печени, осуществляемый системой цитохрома P_{450}. Усиливает действие многих лекарств (напр., барбитуратов) in vivo.
Диэтилдитиокарбаминовая кислота, Na-соль (ДИЭКК; DIECA)	 *M* 171,3	Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH. При 10^{-3} М необратимо ингибирует Cu-ферменты. Ингибирует диаминоксидазу [BJ **59**, 609 (1955)]. Может реагировать также с Zn-, Fe- и др. металлоферментами. Неуст. в кисл. раств. См. также разд. 17, А «Хелатирующие агенты».
Диэтилпирокарбонат (ДЭПК; диэтилдикарбонат; ангидрид этоксимуравьиной кислоты; DEP)	 *M* 162,2	Маслянистая жидк. $t_{кип}$ 74 ÷ 76 (7 мм Hg). Имеет фруктовый запах. Раствсть: 0,6 H_2O (с разл.); х. р. EtOH, орг. раств-ли. Разрушает ферменты путем этоксиформилирования белков. Использ. для ингибирования нуклеаз при экстракции РНК, но, насколько известно, нарушает биологическую активность мРНК (реагирует с односпиральной РНК). Часто использ. для удаления след. кол-в нуклеаз из реагентов перед их использ. (добавка 0,1% освобождает раств. от нуклеаз [Biochem. **10**, **10**, 3014 (1972)]); за ночь ДЭПК разл. на CO_2 и EtOH; pH может падать. Токсичность низкая, но при работе рекомендуется соблюдать осторожность из-за возможного мутагенного действия. Общий обзор по ДЭПК см. [PNARMB **16**, 189 (1976)]. См. также разд. 16, Б.

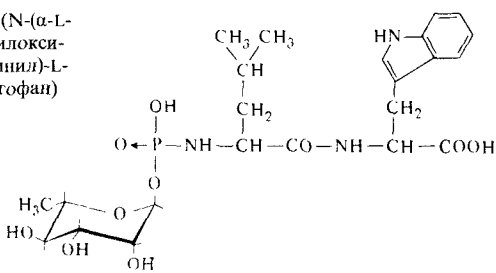
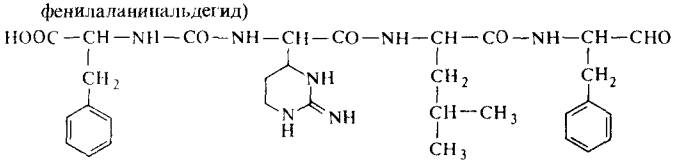
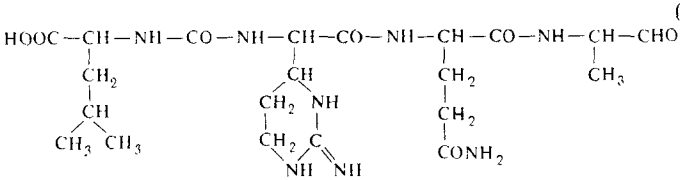
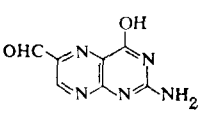
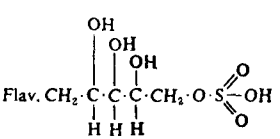
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Изониазид (гидразид изоникотиновой кислоты)	 *M* 137,1	Бел. крист. $t_{пл}$ 170 ÷ 173. Раств-сть: х. р. H_2O; м. р. EtOH, $CHCl_3$. Антагонист пиридоксина в некоторых бактериях, но не в микобактериях, так как в последних действие изониазида не обращается пиридоксином. Вызывает у человека неврит; действие может быть обращено пиридоксином. Антибактериальное действие, по-видимому, в результате хелатирования металлов.
Изопропилгидразин	 *M* 74,1	Бесцв. жидк. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. При 10^{-9} М ингибирует диаминоксидазу; не ингибирует моноаминоксидазу.
Имидазол (глиоксалин; 1,3-диазол; иминазол)	 *M* 68,1	Призмы из бенз. $t_{пл}$ 90 ÷ 91. pK_a 7,1. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф. $CHCl_3$. пир.; м. р. бенз.; о. ум. р. петр. эф. При 10–40 мМ ингибирует cAMP-фосфодиэстеразу (низкие значения K_m), а в некоторых случаях стимулирует cAMP-фосфодиэстеразу (высокие значения K_m) [Diabetes **17**, 308 (1968); Adv. Cyclic Nucleotide Res. **7**, 249 (1976)]. Хороший буфер в диапазоне pH 6,2 ÷ 7,8.
Иодоацетамид	ICH_2CONH_2 *M* 185,0	$t_{пл}$ 95. Раств-сть: р. H_2O. При 10^{-3} М ингибитор ферментов. *См.* Иодоуксусная кислота.
Иодоуксусная кислота	ICH_2COOH *M* 186,0	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 82 ÷ 83. pK_a 3,13. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; м. р. эф. Характерная р-ция $R—SH + R'X \rightarrow R—S—R' + HX$ существенно необратима и не о. специфична. Обзор методов карбоксиметилирования см. [Meth. Enzymol. **25**, 424 (1972)]. Реагирует также с $-NH_2$ и фенольным —OH, с метионином, лизином и гистидином (pH-зависимая р-ция; медл., чем с —SH). Повышение скорости р-ции при высоких pH (pH 9) указывает на то, что р-ция, по-видимому, протекает с участием гр. RS^-. При 10^{-3} М ингибирует ферменты. Триозофосфатдегидрогеназа «классический» чувствительный к иодоуксусной кисл. фермент. Медл. разл. в раств.; хранить без доступа света.
Na-соль	ICH_2COONa *M* 208,0	Раств-сть: р. H_2O.

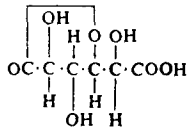
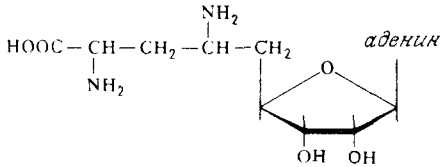
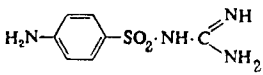
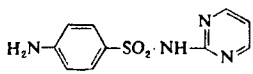
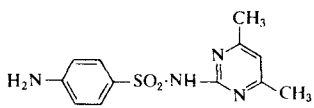
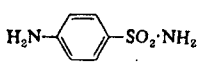
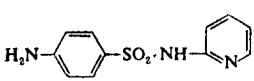
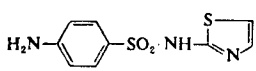
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Ипразид (1-изоникотиноил-2-изопропилгидразин; марсилид)	 *M* 179,2	Иглы. $t_{пл}$ 113. Раств-сть: р. H_2O; EtOH. Противотуберкулезная активиость, по-видимому не связанная с антипиридоксиновой активностью. Использ. как «психостимулятор» в состоянии депрессии. Ингибирует декарбоксилирование аминокислот in vivo и in vitro, а также аминооксидазы.
Калия селенат	K_2SeO_4 *M* 221,2	Бесцв. ромб. крист. Раств-сть: р. H_2O. Ингибирует ATP-сульфурилазу и многие р-ции с участием сульфата.
Кофеин (1,3,7-триметилксантин; теин; метилтеобромин)	 *M* 194,2; Гидрат: *M* 212,2	Бел. иглы из EtOH; призмы после субл. $t_{пл}$ безводн. 237. Субл. > 178. Раств-сть: р. гор. H_2O, EtOH, ац., $CHCl_3$, бенз.; м. р. хол. H_2O; ум. р. эф. Ингибирует cAMP-фосфодиэстеразу (*см.* Теофиллин). Стимулирует ц. н. с. Сужающий сосуды агент. Легко абсорбируется в ж. к. т., удерживается в крови в течение 6–12 ч. Частично деметилируется и окисл., экскретируется в виде 1-метилмочевой кисл.
Гидрохлорид	$C_8H_{10}N_4O_2 \cdot HCl \cdot 2H_2O$ *M* 266,7	
Сульфат	$C_8H_{10}N_4O_2 \cdot H_2SO_4$ *M* 292,2	
Левамизолгидрохлорид (L-(−)-2,3,5,6-тетрагидро-6-фенилимидазо-{2,1-b}-тиазол; тетрамизол)	 *M* 240,8	$t_{пл}$ 226 ÷ 229 (230 ÷ 233). $[\alpha]^{21}$ −127,3 (c = 0,9 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH; ум. р. EtOH. При 10^{-5} М ингибитор щелочной фосфатазы из различных тканей млекопитающих, за исключением кишечника [BBA **289**, 158 (1972)]. Противоглистное средство. Для мышей и крыс $ЛД_{50}$ 22 и 24 мг/кг (в. в.); 84 и 130 мг/кг (подкожно); 210 и 480 мг/кг (перорально).
Левулиновая кислота (4-оксопентановая кислота; 4-кетовалериановая кислота)	$CH_3COCH_2CH_2COOH$ *M* 116,1	Пластинки или листочки. $t_{пл}$ 33 ÷ 35. Требует защиты от света. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф.; н. р. алифатические углеводороды. Ингибирует дегидратазу δ-аминолевулиновой кисл. Ингибитор синтеза хлорофилла [BBRC **49**, 364 (1972)]. Легко образуется при нагрев. многих углеводов в кисл. раств.
2-Меркаптобензтиазол (MERCAP; 2(3H)-бензтиазолтиол)	 *M* 167,3	Св.-желт. монокл. иглы. $t_{пл}$ 180 ÷ 182. Раств-сть: н. р. H_2O; 2^{25} EtOH; 1^{25} эф.; 10^{25} ац.; р. в раств. щел. и карбонатов щелочных металлов. Ингибирует полифенолоксидазу (при $10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-5}$ М) путем образования хелатных комплексов с Cu [Science **157**, 200 (1967)]. Как соединение, содержащее гр. —SH, использ. вместо смеси ЭДТА или ЭГТА с цистеином или меркаптоэтанолом при выделении митохондрий [Meth. Enzymol. **31**, 592 (1974)].

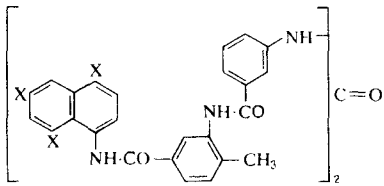
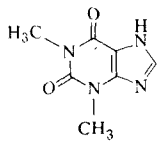
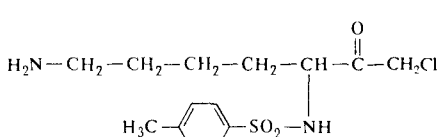
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
1-Метил-3-изобутилксантин (MIX)	 *M* 223,3	$t_{пл}$ 200 ÷ 201. Ингибитор cAMP-фосфодиэстеразы. Липолитическая активность проявляется при конц., приводящих к < 20%-ному ингибированию фосфодиэстеразы; MIX в 19 раз более активен, чем теофиллин (0,05 мМ) [Mol. Pharmacol. **6**, 597 (1970); Adv. Cyclic Nucleotide Res. **7**, 225 (1976)].
Натрия сульфит	$Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$ *M* 252,2	Выветр. бесцв. монокл. крист. Раств-сть: р. H_2O; м.р. EtOH. При ~ 10^{-4} М ингибирует сульфатазы. Главный реагент для расщепления дисульфидных связей белков [Chem. Rev. **59**, 583 (1959)].
Натрия фторид	NaF *M* 42,0	Бел. кубические крист. pK_a 3,2 (для HF). Раств-сть: р. H_2O. Ингибирует многие Mg^{2+}-зависимые ферменты, такие, как енолаза и кислая фосфатаза. Активирует аденилатциклазу путем изменения Mg^{2+}-зависимости [PNAS **74**, 92 (1977); Adv. Cyclic Nucleotide Res. **3**, 23 (1973)].
Неостигминбромид (простигмин; прозерин)	 *M* 303,2	Бел. крист. порошок. $t_{пл}$ 168 (разл.). Раств-сть: х. р. хол. H_2O; р. EtOH. При 10^{-7}–10^{-8} М ингибирует холинэстеразы мозга, эритроцитов и плазмы. Растворы хранить в защищенном от света месте.
Оксаминовая кислота	 *M* 89,1	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 210. Раств-сть: р. H_2O; о. п. р. EtOH. При 10^{-5} М ингибирует лактатдегидрогеназу из сердца путем конкурирования с пируватом [JBC **234**, 1143 (1959)]. Ранее использ. для ингибирования гликолиза в неопластических клетках.
Окситиаминхлоридгидрохлорид	 *M* 338,3	Бел. иглы. $t_{пл}$ 195 (разл.). Раств-сть: р. MeOH; н. р. эф. Антагонист тиамина у цыплят и мышей, действие может быть обращено тиамином. В отличие от пиритиамина фосфорилируется in vivo до ингибитора карбоксилазы.
Парапируват (γ-метил-γ-гидрокси-α-кетоглутаровая кислота)	 *M* 176,1	Раств-сть: р. H_2O. При 10^{-3} М специфически ингибирует окисление α-оксоглутарата в препаратах тканей. Парапируват существует в равновесии с соответствующим лактоном, причем доля последнего в равновесной смеси составляет 25%.

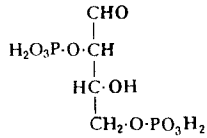
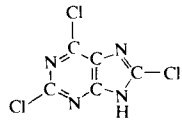
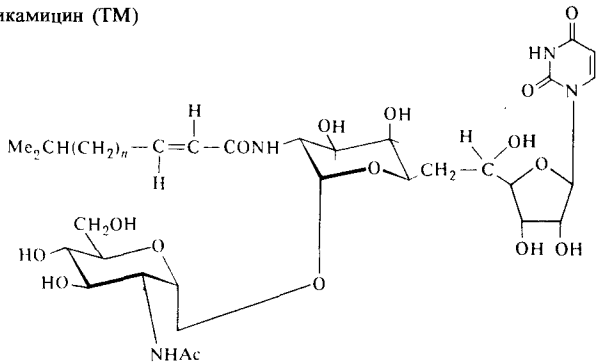
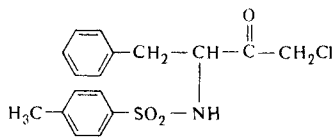
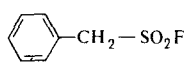
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Пенициллин	Все пенициллины имеют β-лактам-тиазолидиновую структуру  пенициллин G, бензилпенициллин R = $PhCH_2$— *M* 334,4 (свободная кислота)	Аморф. бел. порошок. Раств-сть: р. MeOH, EtOH, эф., ац., этилацетат; ум. р. H_2O; н. р. петр. эф. Блокирует образование клеточной стенки в растущих клетках, что приводит к накоплению UDP-мурамилпептидов и образованию протопластов, легко подвергающихся лизису. Ковалентно связывается с белками в мембране. По-видимому, ключевым моментом является блокирование конечной р-ции транспептидации при переносе мурамилпептида от UDP-носителя к полимеризованным участкам в клеточной стенке. Существуют устойчивые штаммы чувствительных организмов, которые продуцируют индуцибельную пенициллиназу. Свободная кисл. сохраняет свою активность, если хорошо высушена, но быстро инактивируется под действием небольших кол-в H_2O.
Na-соль	*M* 356,4	Крист. из MeOH – Et-ацетат. Раств-сть: х. р. H_2O; м. р. EtOH; практ. н. р. ац., эф., $CHCl_3$, Et-ацетат.
Пиразол (1,2-диазол)	 *M* 68,1	Иглы или призмы из петр. эф. $t_{пл}$ 70. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф., бенз. Ингибитор алкогольдегидрогеназы [Alcoholism: Clin, and Exper. Res. 1, 7 (1977)]. 4-Метильное производное более эффективно.
Пиридин-3-сульфоновая кислота	 *M* 159,2	Иглы или пластинки. $t_{пл}$ 357 (разл.). Раств-сть: х. р. H_2O; м. р. EtOH. Антагонист никотинамида в некоторых микроорганизмах и у собак с дефицитом никотиновой кисл. Образует ингибиторный аналог NAD in vivo.
Пиритиаминбромидгидробромид (неопиритиамин)	 *M* 420,2	Гигр. иглы. $t_{пл}$ 220. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$. Конкурентный антагонист тиамина у микроорганизмов и высших животных. Получаемый эффект отличается от вызываемого окситиамином. Ингибирует фермент, образующий кокарбоксилазу, но, возможно, обладает и др. действием.
Пирогаллол (1,2,3-триоксибензол; пирогалловая кислота)	 *M* 126,1	Бел. крист. Темнеют на возд. и на свету. $t_{пл}$ 131. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф. При 10^{-5} М конкурентный ингибитор катехол-О-метилтрансферазы. In vivo усиливает действие адреналина и норадреналина.
Полифлоретинфосфат	 *M* 15000	Св.-зелен. или коричн. порошок. Раств-сть: р. H_2O. При 0,025 мкг/мл ингибирует щелочную фосфатазу и при 0,1 мкг/мл гиалуронидазу. Др. полифосфаты действуют аналогично.

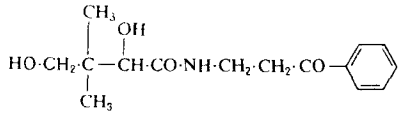
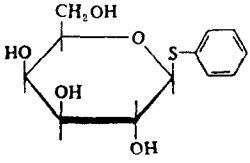
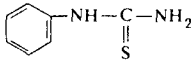
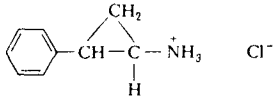
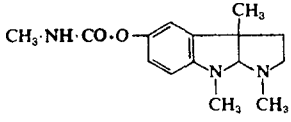
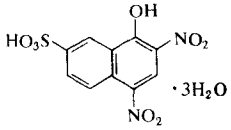
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Протеаз ингибиторы (из микроорганизмов)		Ряд отн. специфичных ингибиторов протеаз, выделенных из культуральных фильтратов. См. обзор [Cold Spring Harbour Symposium (1976) on Proteases p. 429].
Антипэин ([(S)-1-карбокси-2-фенилэтил]карбамоил-L-аргинил-L-валиларгинин-альдегид)	 *M* 604,7	Ди-HCl: $t_{пл}$ 170 ÷ 177. Раств-сть: р. H_2O, MeOH, ДМСО; м.р. EtOH; н.р. эф., $CHCl_3$. По действию сходен с лейпептинами (*см.*), но ингибирует плазмин в меньшей степени, а катепсин А в большей степени, чем лейпептины; вызывает 50%-ное ингибирование при следующих конц. (мкг/мл): папаин 0,16, трипсин 0,26, катепсин А 1,19, В 0,59, D 125, плазмин > 93, химотрипсин и пепсин > 250 [J. Antibiotics **25**, 263, 267 (1972)].
Лейпептины (N-пропионил(или ацетил)-L-лейцил-L-лейцил-L-аргинин-альдегид)	 R – пропионил или ацетил *M* 426,6 (ацетил)	Раств-сть: гидрохлорид р. H_2O. EtOH, ДМСО; н.р. ац. Лейпептин содержит пропионильное и ацетильное производные в соотношении 3:1. Сильно ингибирует плазмин, трипсин, папаин и катепсин В (50%-ное ингибирование при следующих конц. (мкг/мл): 8,2, 0,5 и 0,44). Химотрипсин, пепсин, катепсины А и D мало чувствительны к лейпептинам (50%-ное ингибирование при следующих конц. (мкг/мл): 8,2, 0,5, и 0,44). Химотрипсин, пепсин, катепсины А и D мало чувствительны к лейпептинам (50%-ное ингибирование при следующих конц.: > 500, > 500, 1680 и 109) [J. Antibiotics **22**, 283, 558, (1969); **25**, 515 (1972)].
Пепстатин А	R-L-Val-L-Val-АГМГК-L-Ala-АГМГК R – изовалериановая кислота; АГМГК – 4-амино-3-гидрокси-6-метилгептановая кислота *M* 685,9	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 228 ÷ 229. Раств-сть: р. MeOH, EtOH, ДМСО; м.р. H_2O, эф. Сильно ингибирует кислые протеазы. Первый выделенный пепстатин; вызывает 50%-ное ингибирование при следующих конц.: пепсин $1{,}5 \cdot 10^{-8}$ М, катепсин D $1{,}5 \cdot 10^{-8}$ М, трипсин, плазмин, химотрипсин, эластаза и термолизин $> 3{,}6 \cdot 10^{-4}$ М. Ингибирует также ренин ($6{,}0 \cdot 10^{-6}$ М). 50%-ное ингибирование наблюдается при различных конц. в зависимости от субстрата. Др. выделенные пепстатины различаются R-гр. или амиокислотными остатками; антиренивовая активность возрастает с увел. гидрофобности R-гр. [J. Antibiotics **23**, 259, 263 (1970); **24**, 687 (1971); **25**, 689 (1972)].

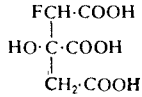
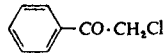
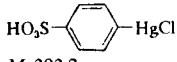
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Фосфоамидон (N-(α-L-рамнопиранозилокси-гидроксифосфинил)-L-лейцил-L-триптофан)	 *M* 543,6	Раств-сть: Na-соль р. H_2O, ДМСО; м. р. EtOH; н. р. эф. Сильно ингибирует термолизин, слабо коллагеназу (50%-ное ингибирование при 0,4 и 33 мкг/мл) не действует на трипсин, химотрипсин, папаин и пепсин (50%-ное ингибирование при > 250 мкг/мл). [J. Antibiotics **26**, 621 (1973); Tetrahedron Letts. **1**, 97 (1972)].
Химостатин (N-[((S)-1-карбокси-2-фенилэтил)-карбамоил]-α-[2-имино-гексагидро-4(S)-пиримидил]-L-глицил-L-лейцил-фенилаланинальдегид)	 *M* 582,7	Бел. крист. $t_{пл}$ 205 ÷ 207 (разл.). Раств-сть: р. укс. кисл., ДМСО; м. р. H_2O, EtOH; н. р. эф. Сильно ингибирует химотрипсин, слабо папаин и катепсин, неактивен к трипсину. Вызывает 50%-ное ингибирование при следующих конц. (мкг/мл): химотрипсин 0,15, папаин 7,5, катепсин А 62,5, В 2,6, D 49.0, плазмин и трипсин > 250. [J. Antibiotics **23**, 425 (1970); **26**, 625 (1973)]. Лейцин в составе молекулы может быть заменен на изолейцин или валин.
Эластатиналь (N-((S)-1-карбоксиизопентил)-карбамоил-α-(2-имино-гексагидро-4(S)-пиримидил)-L-глицил-L-глутамил-L-аланинальдегид	 *M* 512,6	pK_a 3,7, > 11. Раств-сть: р. H_2O. ДМСО, м. р. EtOH, ац.; н. р. эф. Сильный ингибитор эластазы; при 0,29 мкг/мл ингибирует на 50%; при > 250 мкг/мл ингибирует др. протеазы [J. Antibiotics **26**, 787 (1973); **28**, 337 (1975)]. Неуст. в щел. раств.
6-Птеридилальдегид (2-амино-4-гидрокси-6-формилптеридин)	 *M* 191,2	Желт. порошок. При 10^{-9} М ингибирует ксантиноксидазу молока.
Рибофлавин-5-сульфат	 *M* 456,4	Желт. крист. Раств-сть: р. H_2O. При 10^{-5} М ингибирует аминокислотную оксидазу путем конкурирования за рибофлавиновый остаток FAD. Не предотвращает соединения FMN со «старым желтым ферментом» [Nature, Lond. **180**, 922 (1957)].

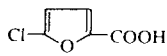
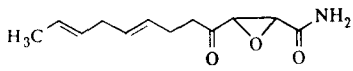
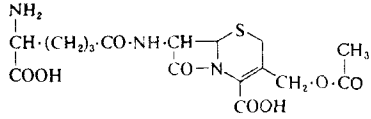
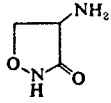
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Сахаролактон (D-глюкаролактон-1,4)	 *M* 192,1	Бесцв. крист. $t_{пл}$ гидрат 90. Раств-сть: р. H_2O, ац. При 10^{-5} М конкурентно ингибирует β-глюкуронидазу. При кипячении раств. кислой калиевой соли в течение 30 мин образуется около 30% лактона. Последний иеуст. при pH > 6.
Синефунгин	 *M* 367,3	Ингибитор метилтрансферазы. По структуре напоминает S-аденозилгомоцистеин; ингибирует мРНК-7-метилгуанинтрансферазу вирионов возбудителя болезни Ньюкасла и мРНК-нуклеозид-2′-О-метилтрансферазу вирионов осповакцины (K_i 12,0 и 40 нМ). Предотвращает образование m^7GpppN... на 5′-конце молекул мРНК и ингибирует размножение вирусов [JBC **253**, 4075 (1978)]. В L-клетках при 10 мкМ скорость размножения вирионов осповакцины ингибируется на 62%. S-Аденозилгомоцистеин (*см.*) также ингибирует эти процессы, но менее эффективно.
Сульфагуанидин (N^1-гуанилсульфаниламид)	 *M* 214,3	Иглы. $t_{пл}$ 190 ÷ 193. Раств-сть: р. гор. H_2O, разб. кисл.; м. р. H_2O, EtOH.
Сульфадиазин (N^1-2-пиримидилсульфаниламид)	 *M* 250,3	Бел. крист. $t_{пл}$ 252. Раств-сть: р. разб. кисл. и щел.; м. р. H_2O, EtOH; Na-соль р. H_2O. См. [*Northey E. H.*, The sulphonamides and allied compounds, Am. Chem. Soc. Monograph. Series, 1948]. Все сульфонамиды – антагонисты *n*-аминобензойной кисл., предотвращают образование фолиевой кисл.
Сульфадимезин (N^1-(4,6-диметил-2-пиримидилсульфаниламид))	 *M* 278,3	Бел. крист. $t_{пл}$ 176. Раств-сть: р. разб. щел.; м. р. H_2O; Na-соль х. р. H_2O.
Сульфаниламид (*n*-аминобензолсульфамид)	 *M* 172,2	Бел. крист. $t_{пл}$ 165 ÷ 167. Раств-сть: р. разб. кисл. и щел.; м. р. H_2O, EtOH. При 10^{-6} М ингибирует карбоангидразу.
Сульфапиридин (N^1-2-пиридилсульфаниламид)	 *M* 249,3	Бел. крист. $t_{пл}$ 191 ÷ 193. Раств-сть: р. разб. кисл. и щел., о. п. р. H_2O; Na-соль р. H_2O.
Сульфатиазол (N^1-2-тиазолилсульфаниламид)	 *M* 255,3	Бел. крист. $t_{пл}$ 200 ÷ 203. Раств-сть: р. разб. кисл.; Na-соль р. H_2O

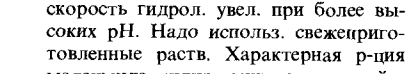
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Сурамин (гексанатрий-*симм*-бис(*м*-аминобензоил-*м*-амино-*n*-метилбензоил-1-нафтиламино-4,6,8-трисульфонат)карбамид; антрипол; байер 205; германин; фурно 309)	 X = SO_3Na *M* 1429,2	Бел. или кремовый порошок. Легко р. H_2O; ум. р. 95%-ный EtOH; н. р. бенз., эф., $CHCl_3$. Ингибирует трипсин, фумаразу, гиалуронидазу, уреазу, гексокиназу, сукцинатдегидрогеназу, холиндегидрогеназу, рибонуклеазу, β-галактозидазу и лизоцим; активен против этих ферментов при конц. 10^{-4}–10^{-5} М [BJ **47**, 158 (1950)]. Неуст. в раств. Ранее использ. в быстрой методике определения изоэлектрических точек некоторых чувствительных ферментов; методика особ. полезна на ранних стадиях очистки ферментов [BJ **50**, 421 (1952)].
Теофиллин (3,7-дигидро-1,3-диметил-1H-пуриндион-2,6; 1,3-диметилксантин)	 *M* 180,2	Моногидрат: тонкие моноклинные крист. из H_2O; $t_{пл}$ 270 ÷ 274. Раств-сть: 0,9 H_2O; 1,25 EtOH; р. гор. H_2O, гидроксиды щелочных металлов, разб. кисл.; ум. р. эф. Конкурентно ингибирует cAMP-фосфодиэстеразу; для очищенного фермента из сердца быка K_i $1 \cdot 10^{-4}$ М [JBC **237**, 1244 (1962)]. При 10 мМ 100%-ное ингибирование. Кофеин менее сильный ингибитор. О др. ингибиторах см. [Adv. Cyclic Nucleotide Res. **3**, 65 (1973); **7**, 225 (1976); **8**, 119 (1977)]. Использ. как диуретик, стимулятор сердечной деятельности; расслабляет гладкие мышцы. Для мышей (перорально) $ЛД_{50}$ 540 мг/кг.
Тетраэтилпирофосфат (ТЭПФ; TEPP)	$OP(OC_2H_5)_2OP(OC_2H_5)_2O$ *M* 290,2	Бесцв. гигр. масло. Раств-сть: р. EtOH, H_2O. Раств. гидрол. до EtOH и H_3PO_4. При 10^{-8}–10^{-9} М ингибирует холинэстеразу из мозга и плазмы. При 10^{-6} М ингибирует растительную ацетилэстеразу. Не действует на трипсин; о. медл. реагирует с химотрипсином; ср. ДФФ.
Тозиллизинхлорометилкетон (ТЛХК; TLCK)	 *M* 332,9 Гидрохлорид: *M* 369,3	Раств-сть: м. р. H_2O. Инактивирует трипсин, но не химотрипсин [*ср.* ТФХК; действует противоположным образом]; стехиометрически реагирует с активным центром. Использ. свежеприготовленные раств.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
D-Треозо-2,4-дифосфат	 *M* 280,1	Раств-сть: р. H_2O. Неконкуреитный ингибитор глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы. Ингибитор без выделения получают окислением соответствующего арабитолфосфата.
2,6,8-Трихлоропурин	 *M* 223,5	Пластинки пентагидрата. $t_{пл}$ гидрат 187. Раств-сть: м. р. H_2O; о. п. р. EtOH, ац. При 10^{-6} М ингибирует уриказу. Др. трехзамещенные пурины действуют аналогично.
Туникамицин (ТМ)	 ($n = 8$): *M* 816,9	λ_{max} в MeOH 205 и 260 нм ($A_1^{1\%}$ см 230 и 110). Раств-сть: р. MeOH, H_2O, при щел. pH; м. р. EtOH; н. р. ац. Ингибитор бактериальной и эукариотической N-ацетилглюкозаминтрансфераз; предотвращает образование липидного промежуточного производного N-ацетилглюкозамина и препятствует гликозилированию вновь синтезированных гликопротеинов в эукариотических и бактериальных клетках. Ингибирует репликацию VSV в клетках млекопитающих (при 0,5 мкг/мл на 99% [J. Virol. **21**, 375 (1977)]. См. обзор [PNARMB **22**, 193 (1979)]. Неуст. в кисл., уст. при щел. pH. Существуют 4 различных гомолога, у которых $n = 8$, 9, 10 и 11. Механизм действия см. [Biochem. **18**, 2186 (1979)].
ТФХК (ТРСК; тозилфенилаланинхлорометилкетон; L-1-(*n*-толуолсульфонил)-амидо-2-фенилэтилхлорометилкетон; L-(1-тозиламидо-2-фенил)этилхлорометилкетон)	 *M* 351,9	$t_{пл}$ 102 ÷ 103. Раств-сть: р. MeOH. Специфический ингибитор химотрипсина, но не трипсина (*ср.* ТЛХК; действует противоположным образом). Алкилирует гистидин активного центра; получение производного с ферментом в 3–5%-ном MeOH или в смеси 10%-ный MeOH – 10%-ный ДМСО см. [Meth. Enzymol. **25B**, 655 (1972)]. Исходные раств. готовят в MeOH.
Фенилметансульфонилфторид (ФМСФ; α-толуолсульфонилфторид; PMSF)	 *M* 174,2	Крист. $t_{пл}$ 91 ÷ 92. Раств-сть: м. р. H_2O. Специфический ингибитор химотрипсина и трипсина; сульфонилирует белок только по гистидину активного центра. Водн. раств. гидрол. на 50% за 100 мин при 25°C и pH 7. Использ. исходные раств., приготовленные в 2-PrOH (7 мг/мл).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Фенилпантотенон	 *M* 279,3	Бел. крист. $t_{пл}$ 126. Раств-сть: х. р. EtOH; р. H_2O. Сильный антагонист пантотеновой кисл. во многих микроорганизмах, независимо от пищевых потребностей в этом факторе. Действие фенилпантотенона обратимо в присутствии пантотеновой кисл. только в тех организмах, которые нуждаются в ней как в компоненте диеты. Образование CoA ингибируется этим аналогом и еще более эффективно толилпантотеноном.
Фенил-β-D-тиогалактозид	 *M* 272,3	$t_{пл}$ 112. Раств-сть: р. H_2O. При 10^{-3} М конкурентно ингибирует β-галактозидазу. Не является индуктором β-галактозидазы в *E. coli*.
Фенилтиомочевина (фенилтиокарбамид)	 *M* 152,2	$t_{пл}$ 154. Раств-сть: 0,25 H_2O; р. EtOH. Ингибирует тирозиназу [Meth. Enzymol. **17A**, 620 (1970)]; может иметь горький вкус или быть безвкусным в зависимости от получения. Для крыс и кроликов (перорально) $ЛД_{50}$ 3,40 мг/кг.
2-Фенилциклопропиламин-гидрохлорид (SKF *trans*-385)	 *M* 169,7	Бесцв. иглы. Раств-сть: р. EtOH; н. р. эф. При 10^{-7} М ингибирует аминоксидазу (практически необратимо). Активны и *цис*- и *транс*-изомеры. Ни один из них не влияет на диаминоксидазу.
Физостигмин (эзерин)	 *M* 275,3	Бесцв. крист. призмы (неуст. форма). $t_{пл}$ 105 (86). pK_a 6,12; 12,24. Раств-сть: р. EtOH, $CHCl_3$, эф.; м. р. H_2O. При 10^{-5}–10^{-8} М ингибитор холинэстеразы из плазмы и мышц. Хранить в темноте.
сульфат	$(C_{15}H_{21}N_3O_2)_2 \cdot H_2SO_4$ *M* 648,8	$t_{пл}$ 145. Раств-сть: х. р. H_2O; р. EtOH.
Флавиановая кислота (2,4-динитро-1-нафтол-7-сульфоновая кислота)	 Гидрат: *M* 368,3	Желт. иглы. $t_{пл}$ 100. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. При 10^{-3} М ингибирует активирующую фосфат глутаминазу; не конкурирует с глутамином.
Фторуксусная кислота	FCH_2COOH *M* 78,0	Бел. крист. $t_{пл}$ 33. pK_a 2,66. Раств-сть: р. H_2O, EtOH. In vivo образует фторцитрат (*см.* Фторолимонная кислота) под действием ацетил-CoA-синтетазы и цитратсинтетазы.
Na-соль	FCH_2COONa *M* 100,0	Бесцв. крист.

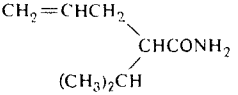
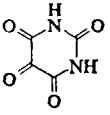
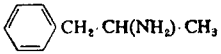
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Фторолимонная кислота	 *M* 210,1	Безводн.: бесцв. иглы; гидрат.: бесцв. крист. Обе формы о. распл. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф. При 10^{-5} М ингибирует аконитазу. Различия между природным и синтетическим соединениями, по-видимому, связаны с присутствием различиых стереоизомеров. Биологически активный изомер –(–)-*эритро*-фтороцитрат. При 10–100 нМ необратимо ингибирует транспорт цитрата внутрь изолированных митохондрий мозга крысы. Токсический эффект в большей степени связан с влиянием фторолимонной кислоты на транспорт цитрата, чем с ингибированием аконитазы [Mol. Pharmacol. **14**, 172 (1978)]. Мишень ингибирования: цитрил-глутатион-тиоэфир-образующая ферментативная система [PNAS **74**, 4942 (1977)].
Ba-соль	$[Ba_3(C_6H_4O_7F)_2]_2 \cdot H_2O$ *M* 1670,4	
β-Фторощавелевоуксусная кислота (1-фторо-2-оксоянтарная кислота)	HOOCCOCHFCOOH *M* 150,1	Крист. $t_{пл}$ 86. Раств-сть: р. H_2O. При 10^{-3} М конкурентно ингибирует малатдегидрогеназу. Кристаллическая кисл. разл. при стоянии.
ω-Хлороацетофенон (α-хлороацетофенон; ХАФ; фенацилхлорид)	 *M* 154,6	Крист. $t_{пл}$ 95. $t_{кип}$ 247. Раств-сть: р. EtOH, бенз., эф., монометиловый эфир этиленгликоля; н.р. H_2O. При 10^{-3}–10^{-4} М ингибитор ферментов. Обладает слезоточивым действием.
n-(Хлоромеркурио)фенилсульфокислота (ПХМФС; *n*-сульфофенилмеркурихлорид; PCMBS)	 *M* 393,2	Раств-сть: х.р. H_2O. При 10^{-5} М ингибитор ферментов. Применяется при титровании –SH-гр. в белках [JBC **203**, 563 (1953)]. Характерная р-ция ртутьорганических соединений $RSH + R'HgX \rightarrow R-S-HgR' + HX$ обычно протекает с высокой специфичностью при низкой конц., р-ция может быть обращена под действием тиолов (напр., меркаптоэтанола); при высокой конц. могут реагировать с др. белковыми гр. Обладают высоким сродством к гр. —SH и быстро с ней реагируют; пригодны для количественного определения гр. —SH. *Замечание.* Неорг. соли Hg^{2+} (и др. тяжелых металлов) также использ. в качестве ингибиторов SH-ферментов и для определения гр. —SH. Анионный состав среды может влиять на реакционноспособность и специфичность; реакционноспособные частицы могут быть производными, образованными из анионов буфера. См. обзор [Metabolic Inhibitors, vol. 2, pp. 119–144, 1963].

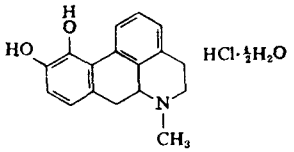
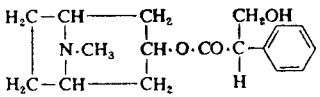
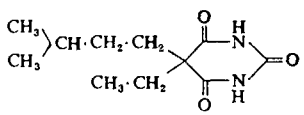
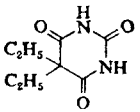
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
5-Хлорофуран-2-карбоновая кислота	 *M* 146,5	Бел. листочки. $t_{пл}$ 179. Раств-сть: р. EtOH; м. р. H_2O. Ингибирует дегидрогеназу L-глутаминовой кисл.: механизм смешанный конкурентно-неконкурентный.
Церуленин (2,3-эпокси-4-оксододекадиен-7,10-амид)	 *M* 223,3	Бел. крист. $t_{пл}$ 93–94. Раств-сть: р. EtOH, ац.; м. р. H_2O; н. р. петр. эф. Ингибирует синтетазу жирных кисл. (из печени крысы при 4–20 мкг/мл, из *E. coli* при 4–8 мкг/мл). Ингибирует 3-гидрокси-3-метилглутарат-CoA-синтетазу и предотвращает синтез стерола. Противогрибковый, противобактериальный препарат; при 20 мкг/мл ингибирует рост *B. subtilis*; эффект может быть обращен пальмитиновой кисл. Есть данные об ингибировании пептидазы. См. обзор [Bacteriol. Rev. **40**, 681 (1976)]. Уст. в нейтр. и кисл. раств.
Цефалоспорин С	 *M* 415,4	Крист. в виде Na-соли. Раств-сть: Na-соль легко р. H_2O. Ингибирует синтез клеточной стенки. По действию аналогичен пенициллину, вызывает лизис растущих бактериальных клеток путем ингибирования полимеризации UDP-мурамилпептидов; ~ 0,1% активности бензилпенициллина против *S. aureus*. Индуцирует пенициллиназу в *S. aureus* и *B. cereus*, но уст. к действию пенициллиназы. Атакуется цефалоспориназой и ацетилэстеразой; обе найдены во многих бактериях. Низкая антибактериальная активность возрастает при химическом замещении аминоадипината в боковой цепи.
Циклосерин (оксамицин; D-4-амино-3-изоксазолидон)	 *M* 102,1	Крист. $t_{разл}$ 155 ÷ 156. Раств-сть: р. H_2O; м. р. MeOH, пропиленгликоль. Ингибирует синтез клеточной стенки как в грамположительных, так и в грамотрицательных организмах. Предотвращает рост бактерий и вызывает лизис путем блокирования превращения L-аланина в D-аланин, необходимый для образования D-аланил-D-аланина; ингибирует также D-аланин: D-аланинлигазу. Ингибирование может быть конкурентно обращено D-аланином. Образует соли с кисл. и основаниями. Нейтр. или кисл. раств. неуст. Водн. раств. (Na_2CO_3-буфер, pH 10) можно хранить в течение недели при +4°C.

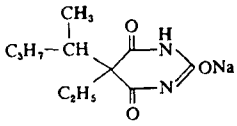
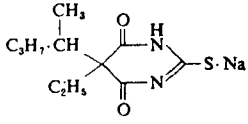
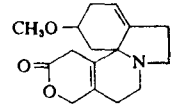
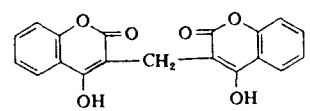
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
N-Этилмалеимид (NEM)	 *M* 125,1	Бесцв. крист. Субл. 44. Раств-сть: х. р. H_2O. Уст. при pH 5 (22 ч). Медл. гидрол. до N-этилмалеамата при pH 7; скорость гидрол. увел. при более высоких pH. Надо использ. свежеприготовленные раств. Характерная р-ция малеимидалкилирующих соединений  практически необратима, при низкой конц. тиола довольно специфична к гр. —SH; протекает с высокой скоростью. Обычно реагируют только наиболее реакционноспособные —SH-гр. белков. Образуется кислотоустойчивый аддукт. Использ. для кол-венного определения —SH-гр. (по исчезновению макс. при 305 нм) [Meth. Enzymol. **25**, 459 (1972)]. Продажные препараты могут содержать примеси, затрудняющие определение —SH-гр.; поэтому желательно синтезировать в лаборатории [PNAS **54**, 891 (1965)]. Р-ция между NEM и глутатионом заканчивается за 1 мин при комн. т. и pH 7. Скорость р-ции уменьш. при уменьш. pH. Продукт р-ции NEM + RSH дает интенсивную неуст. красную окраску в щел.: использ. для проявления хроматограмм. Р-ция NEM с пептид-NH_2, имидазолами протекает замедл. Часто использ. как ингибитор транспорта и ферментативных процессов. В жидком состоянии вызывает слезоточение.

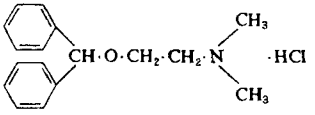
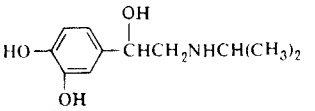
14. Фармакологически активные соединения

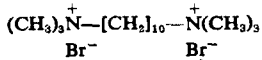
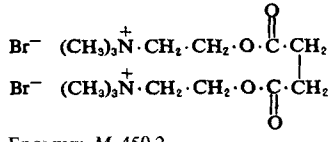
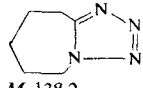
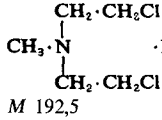
A – длина волны максимума активации (нм); *F* – длина волны максимума флуоресценции (нм).

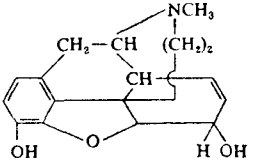
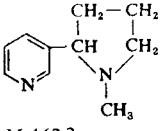
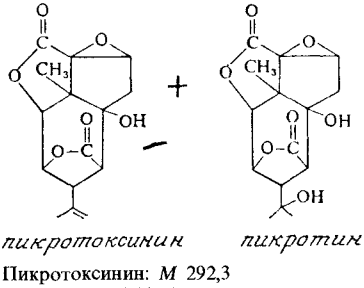
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
Аллилизопропилацетамид (АІА; АИА; 2-изопропилпентен-4-амид)	 *M* 141,2	Раств-сть: м. р. H_2O. Порфириногенный агент; вызывает быструю индукцию синтазы δ-аминолевулиновой кисл. в печени и экскрецию δ-аминолевулиновой кисл. и порфобилиногена. Индуцирует также в изолированных гепатоцитах и культурах клеток печени куриных эмбрионов [JBC **249**, 851 (1974)]. Вызывает деструкцию гемовой простетической гр. микросомального цитохрома P_{450} из печени с образованием зеленого пигмента [BBRC **83**, 132 (1978)]. Вводится п. к. (для крыс 15 мг/100 г массы тела) и перорально (для крыс 40 мг/100 г массы тела).
Аллоксан (мезоксалилмочевина)	 Безводн.: *M* 142,1 Гидрат: *M* 160,1	Моногидрат: бесцв. ромб. призмы; выветр. $t_{разл}$ моногидрат 256. Безводн.: жел. порошок. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; м. р. $CHCl_3$; н. р. эф. Цитотоксичное, вызывающее диабет в-во. При 10^{-3} М ингибирует гексокиназу скелетных мышц; ингибирование может быть обращено цистеином. Ингибирует также сукцинатдегидрогеназу. Вводится в. в. и перорально. Абсорбируется перорально, парентерально. Быстро разрушается. Частично восстанавливается до аллоксантина. Клеточный механизм неизвестен. Действие очень быстрое. Действие останавливают SH-соединения, никотиновая кисл. Диабетогенная доза: для собак 50–70 мг/кг (в. в.), для кроликов 200 мг/кг (в. в.), для крыс 50 мг/кг (в. в.). Доза, выше диабетогенной, обратимо нефротоксична. С *о*-фенилендиамином дает флуоресцирующий продукт.
Амфетамин (бензедрин; 1-фенил-2-аминопропан; (±)-α-метилфенэтиламин; (+)-изомер: дексамфетамин)	 *M* 135,2	$t_{кип}$ 200 (разл.). Растѣ-сть: р. EtOH, эф., кисл., $CHCl_3$; м. р. H_2O. Стимулятор ц. н. с., периферический симпатомиметик. Вводится перорально, в. в. Всасывается из ж. к. т. Частично дезаминируется, частично экскретируется в неизмененном виде. Правовращающая форма вдвое активнее рацемата. Более сильный ингибитор аминоксидазы, чем эфедрин. Использ. при отравлении барбитуратами.

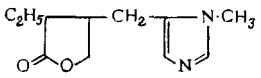
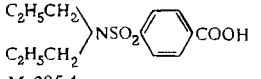
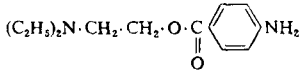
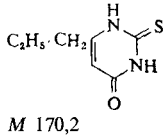
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
сульфат	$(C_9H_{13}N)_2 \cdot H_2SO_4$ *M* 368,5	Плавится > 300 (разл.). Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф.
Апоморфингидрохлорид	 *M* 312,8	Крист. Разл. на свету и на возд. $t_{пл}$ 170 (разл.). Раств-сть: м. р. H_2O, HCl, EtOH; о. п. р. $CHCl_3$, эф. Действующий на ц. н. с. эметик; угнетает ц. н. с. Вводится п. к., перорально, в. в., в. м. Абсорбируется всеми путями. Эметическая доза для собак 2 - 10 мг.
Атропин (DL-гиосциамин)	 *M* 289,4	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 114 ÷ 116. Раств-сть: 0,2 H_2O, 2^{100} H_2O; 33 EtOH; 3 бенз.; 1,8 эф.; 50 $CHCl_3$; р. масла, олеиновая кисл., глицерин. Антагонист мускаринового действия ацетилхолина. Возбуждает и угнетает ц. н. с. Вводится в. м., перорально, местно. Быстро всасывается из ж. к. т., слизистой оболочкой и в некоторой степени через ненарушенную кожу. Быстро исчезает из крови. В тканях, особ. в печени, гидрол. до тропина и троповой кисл. У человека ~ 10% экскретируется с мочой. Видовые различия связаны с наличием атропиназы. Черный дрозд и большинство линий кроликов уст. Снижает слюнную и желудочную секрецию. Зрачок глаза расширяется, и аккомодация нарушается. Ингибируются потовые железы. У человека достаточно быстро вырабатывается уст. Неуст. к автоклавированию.
сульфат	$(C_{17}H_{23}O_3N)_2 \cdot H_2SO_4 \cdot H_2O$ *M* 694,8	$t_{пл}$ 191 ÷ 196. Раств-сть: 200 H_2O; 25 EtOH; н. р. бенз., $CHCl_3$, эф.
Барбитураты, анестезирующие и снотворные средства а) Амилобарбитон (амитал; 5-этил-5-изоамилбарбитуровая кислота)	 *M* 226,3	После абсорбции барбитураты распределяются по тканям. Легко проникают через плацентарный барьер. $t_{пл}$ 156 ÷ 158. Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. EtOH, эф., $CHCl_3$. Флуоресценция: *A* 265 нм, F 410 нм (pH 14). Снотворное средней продолжительности действия. Вводится перорально. Разл.в печени.
Na-соль б) Барбитон (барбитал; веронал; 5,5-диэтилбарбитуровая кислота; 5,5-диэтилмалонилмочевина, Na-соль; растворимый барбитон)	*M* 248,3  *M* 184,2	Раств-сть: р. H_2O, EtOH; н. р. эф. $t_{пл}$ 189 ÷ 192. Раств-сть: 0,84 H_2O; р. EtOH, эф., $CHCl_3$, ац. Снотворное, седативное средство (продолжительного действия). Вводится перорально. Легко абсорбируется. Не связывается с плазменными белками, экскретируется гл. обр. почками. Эффект развивается медл. Часто использ. в виде Na-соли. Фенобарбитон также препарат продолжительного действия.

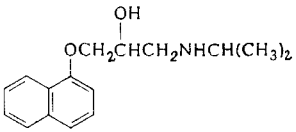
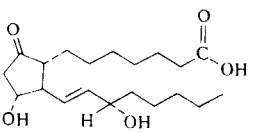
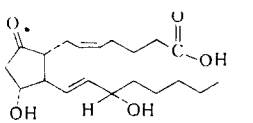
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
Na-соль в) Пентобарбитоннатрий (нембутал; пентобарбитал; Na-соль 5-этил-5-(1-метилбутил)барбитуровой кислоты)	*M* 206,2  *M* 248,3	Раств-сть: р. H_2O. Бел. крист. порошок или гранулы. $t_{пл}$ 128,5 ÷ 130 (свободная кислота). Раств-сть: р. H_2O, EtOH; н. р. эф. Флуоресценция: *A* 265 нм, *F* 440 нм (pH 13–14). Снотворное кратковременного действия, использ. как хирургический анестетик для животных (в. б. доза 35–40 мг/кг). Вводится перорально, в. в., в. б. 50% связывается белками плазмы. Разл. в печени.
г) Тиофентоннатрий (пентотал натрия)	 *M* 264,3	Желт.-бел. гигр. порошок. Луковый запах. Раств. неуст. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; н. р. эф., бенз. Флуоресценция: *A* 315 нм, *F* 513 нм (pH 13–14). Чрезвычайно кратковременно действующий общий анестетик. Вводится в. в. 75–80% связывается плазменными белками. Быстро захватывается жировой тканью, разл. в печени. Мгновенное анестезирующее действие.
Гепарин (Na-соль)	Гетерополисахарид с повторяющимися 4-O-(α-D-глюкуронидо)-D-глюкозамин-N-сульфатными звеньями, связанными α-(1 → 4)-гексозаминидиновыми связями; содержит 1–2 сульфатные группы на дисахаридную единицу. *M* 16000 ÷ 17000	Бел. аморф. порошок; выделяется в виде Na-соли. Раств-сть: р. H_2O; о. ум. р. EtOH, эф., $CHCl_3$. Можно стерилизовать автоклавированием (110°C, 30 мин). Известны α- и β-формы. Обладает хилоцитными свойствами $[\alpha]_D$ +65 (в H_2O). Ингибирует РНазы. Ингибирует казеинкиназу II; при 21 мг/мл 50%-ное ингибирование [Curr. Top. Cell. Regul. **21**, 101 (1982)]. Антикоагулянт. Вводится в. в., в. м., п. к. Разл. в ж. к. т. После в. в. инъекции быстро исчезает из плазмы крови.
Дигидро-β-эритроидин	 *M* 275,3	$t_{пл}$ 85 ÷ 86 (разл.). Раств-сть: р. $CHCl_3$, EtOH. Блокирует нейро-мышечные синапсы и ганглии. Ингибирует холинергическую сиаптическую передачу нервных импульсов к клеткам Реншоу. Вводится перорально. Имеет более длительное действие, чем β-эритроидин, и в 6 раз более активен.
гидробромид	*M* 356,3	$t_{пл}$ 242 (разл.). Раств-сть: р. H_2O, EtOH.
Дикумарол (дикумарин; бисгидроксикумарин; ди-(4-гидроксикумаринил-3)метан; 3,3′-метиленбис(4-гидроксикумарин)	 *M* 336,3	Бел. гексагон. призмы. $t_{пл}$ 287 ÷ 293. Раств-сть: м. р. $CHCl_3$; ум. р. H_2O, EtOH; р. водн. щел., орг. основания. Антикоагулянт крови. Разобщает фосфорилирование, связанное с окислением бутирата митохондриями печени. При 10^{-5} М ингибирует $NADH_2$-оксидазную активность в препаратах сердечной мышцы. Вводится перорально. Абсорбируется из ж. к. т. Медл. превращается в интермедиаты. До 99% принятой дозы связывается белками

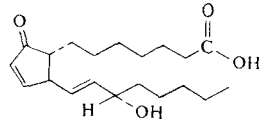
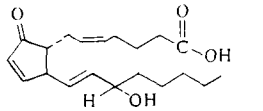
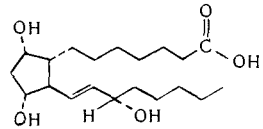
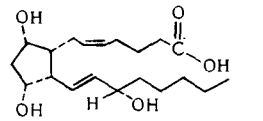
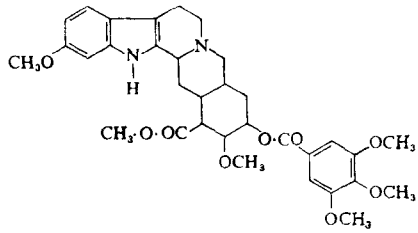
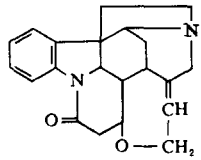
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
		плазмы (особ. альбумином). Небольшое кол-во экскретируется с мочой. Конкурентно препятствует утилизации витамина К печенью при синтезе протромбина. Не оказывает влияния на др. функции печени. Витамин К не влияет на скорость исчезновения дикумарина в плазме. Латентный период 24–96 ч (организм человека).
Дифенилгидрамин (бенадрилгидрохлорид; 2-(бензгидрилокси)-N,N-диметилэтиламингидрохлорид)	 *M* 291,8	$t_{пл}$ 161 ÷ 162. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$; ум. р. эф., бенз. Антигистаминное средство. Вводится перорально. Легко абсорбируется. Макс. конц. в тканях достигается через 60 мин после введения. Конц. в различных органах меняется: легкие > селезенка > почки > печень > мозг > мышцы > кожа. Экскретируется почками частично в неизмененном виде, остальное – в виде неидентифицированных продуктов деградации через 20–24 ч. Использ. как профилактическое защитное средство при угрозе анафилактического шока (собаки и морские свинки).
Изопротеренол (изопреналин; N-изопропилнорадреналин)	 *M* 211,2	$t_{пл}$ *dl* 155,5; гидрохлорид 170 ÷ 171. Раств-сть: р. EtOH; *dl* HCl р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. $CHCl_3$, эф., бенз. Разл. в нейтр. или щел. раств. pK_a 8,64. L-Форма гидрохлорида: $[\alpha]_D^{19} - 50$. β-Адренергический активатор, симпатомиметик, вызывает расширение бронхов. Вводится перорально (медл. абсорбируется), в. в. и путем ингаляций. Период полупревращения препарата при в. в. введении одна или несколько мин. экскретируется с мочой в неизмененном или конъюгированном виде, образующиеся в небольших количествах 3-метоксиизопреналин и его конъюгат также экскретируются этим путем. Активация β-рецепторов см. [Ann. Rev. Biochem. **52**, 159 (1983); Adv. Cyc. Nuc. Res. **14**, 51 (1981)].
Инсулин	Белок, содержащий 51 аминокислотный остаток. Полную структуру см. [BJ **60**, 541 (1955)] *M* 5734	Раств-сть: р. H_2O. Вызывает гипогликемию. Вводится в. м., в. в., п. к. Быстро абсорбируется из места инъекции, выводится из циркуляции и связывается тканями. По-видимому, разрушается инсулиназой, присутствующей в мышцах, печени, почках; не экскретируется. Zn-инсулин крист.: 22 ед./мг. Быстро разл. протеолитическими ферментами ж. к. т. Неочищенные образцы обычно содержат примеси глюкагона, который мобилизует гликоген печени и увел. уровень сахара в крови.

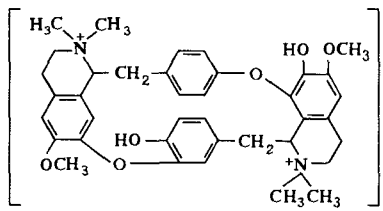
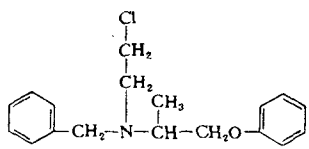
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
Метониевые соединения а) Гексаметоний (гексаметиленбис(триметиламмоний); гексаметонхлорид; бромид: вегализен)	 Хлорид: *M* 273,3	$t_{пл}$ 289 ÷ 292 (разл.). Раств-сть: р. H_2O, EtOH; *н.р.* эф., $CHCl_3$. Ганглиоблокатор. Вводится перорально, п.к., в.м., в.в. Плохо абсорбируется из ж.к.т.; распределяется во внеклеточных жидк.; экскретируется с мочой в неизмененном виде. pH 10%-ного водн. раств. 5,5–6,5. Можно автоклавировать.
б) Декаметоний (декаметиленбис(триметиламмоний); бромид: синкурин)	 Бромид: *M* 418,4	$t_{пл}$ 255 ÷ 267 (разл.). Раств-сть: р. H_2O, EtOH; м.р. $CHCl_3$; н.р. эф. Водн. раств. уст. Блокирует нейро-мышечную передачу. Вводится в.в. Абсорбируется аналогично гексаметонию. Осуществляет блокирование путем деполяризации мембран; не проникает через плацентарный барьер.
в) Суксаметонийбромид (сукцинилхолин; бис(2-диметиламиноэтил)сукцинатбис(метобромид); бревидил М)	 Бромид: *M* 450,2 Хлорид (дигидрат): *M* 397,3	$t_{пл}$ 225. Раств-сть: р. H_2O; м.р. EtOH; н.р. эф. Раств. имеют слабокисл. р-цию, неуст. Блокирует нейро-мышечную передачу, имеет кратковременное действие. Вводится в.в. Быстрый энзиматический гидролиз неспецифической плазменной холинэстеразой; 5–15% экскретируется с мочой. $t_{пл}$ 156 ÷ 163 (дигидрат).
Метразол (1,5-пентаметилентетразол; пентилентетразол; кардиазол; лептазол; тетракор)	 *M* 138,2	Бел. крист. $t_{пл}$ 57 ÷ 60. Раств-сть: х.р. H_2O, EtOH, р. $CHCl_3$, CCl_4 эф. Стимулятор ц.н.с. Вводится в.в., перорально. Быстро абсорбируется; 75% экскретируется в неизмененном виде с мочой. Метаболит временно накапливается в печени. Защищает от токсичных доз депрессантов ц.н.с. Не оказывает прямого действия на сердце.
Мехлорэтамингидрохлорид (мустарген; метилбис(β-хлороэтил)амингидрохлорид)	 *M* 192,5	$t_{пл}$ 109 ÷ 110. Раств-сть: х.р. H_2O; р. EtOH. Цитотоксическое, мутагенное действие; останавливает митоз. Вводится в.в. Абсорбируется из ж.к.т. и мест парентерального введения (местная р-ция). Активная форма, чрезвычайно короткоживущая. Не экскретируется. Обладает локальным нарывным действием. Летальная доза (усредненная) может вызывать растянутую во времени гибель лабораторных животных. В нейтр. или щел. раств. происходит быстрая циклизация с образованием чрезвычайно активного четвертичного аммонийного производного.

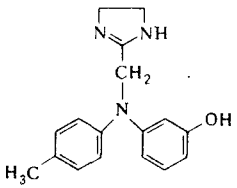
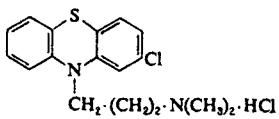
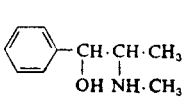
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
Морфин	 H_2O Гидрат: *M* 303,3 Безводн.: *M* 285,3	Безводн.: $t_{пл}$ 254 (разл.). Раств-сть: р. щел.; м. р. EtOH, MeOH; ум. р. H_2O, эф., $CHCl_3$. Теряет кристаллизационную H_2O при 110°C. $[\alpha]_D^{20}$ от −133 до −135 ($c = 1$ в EtOH). Гидрохлорид: $[\alpha]_D^{20}$ от −97 до −99 ($c = 2$ в H_2O). Сульфат: $[\alpha]_D^{25}$ от −107 до −109 ($c = 2$ в H_2O). Действует на ц. н. с., наркотическое и анальгетическое действие; угнетает дыхание. Вводится перорально и в. в. Легко абсорбируется из ж. к. т. Большая часть экскретируется с мочой гл. обр. в виде неизвестной конъюгированной формы. Морфин может быть превращен во флуоресцентное производное обработкой конц. H_2SO_4 с последующим подщелачиванием NH_4OH. Флуоресценция: в изобутаноле *A* 365 нм, *F* 420 нм. Развивается привыкание и невосприимчивость. Иногда наблюдается возбуждение ц. н. с. Диацетилморфин известен как героин; метиловый эфир морфина как кодеин.
	Гидрохлорид $C_{17}H_{19}NO_3 \cdot HCl \cdot 3H_2O$: *M* 375,8 Сульфат $(C_{17}H_{19}NO_2)_2 \cdot H_2SO_4 \cdot 5H_2O$: *M* 758,8	$t_{пл}$ 250 (разл.). Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф., $CHCl_3$. $t_{разл}$ 250. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH; н. р. эф., $CHCl_3$.
Никотин	 *M* 162,2	Бесцв. масло, жгучий вкус. $t_{кип}$ 247. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, MeOH, $CHCl_3$. Холиномиметик в ганглиях и нейро-мышечных соединениях, стимулятор ц. н. с. Быстро абсорбируется из ж. к. т., слизистыми оболочками и кожей. У человека метаболизируется гл. обр. в печени, почках и легких, но 10–20% экскретируется в неизменном виде. Вызывает толерантность. Норникотин – деметилированный никотин.
	Гидрохлорид: $C_{10}H_{14}N_2 \cdot 2HCl$: *M* 235,2	Гигр. крист.
Пикротоксин (коккулин)	 *пикротоксинин* *пикротин* Пикротоксинин: *M* 292,3 Пикротин: *M* 310,3	Блестящие ромб. листочки. $t_{пл}$ 203. Придает горький вкус *Anamirta cocculus*. Эквимолярное соединение пикротина и пикротоксинина. Антидот для барбитуратов. Хранить без доступа света. Раств-сть: 0,3 H_2O; 8,3 EtOH; х. р. щел.; м. р. $CHCl_3$, эф. Стимулятор ц. н. с., вызывает судороги. Вводится в. в. Абсорбируется всеми путями; быстро выводится из крови. Характер распределения по тканям неизвестен. В моче присутствует только после приема внутрь больших кол-в.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
Пилокарпин	 *M* 208,3	Масло. $t_{пл}$ 34. Гидрохлорид: гигр. крист. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$; ум. р. эф., бенз.; н. р. петр. эф. Парасимпатомиметик (селективное действие на ткани, иннервированные постганглионарными холинергическими нервами). Вводится перорально, п. к. После абсорбции большая часть экскретируется в конъюгированной форме. Обычно использ. нитрат. Напоминает мускарин и ареколин. Антагонист атропина. Стимулирует желудочную секрецию, оказывает миотическое и диафоретическое действие.
Пробенецид (бенемид; *n*-(дипропилсульфамид)бензойная кислота)	 *M* 285,4	$t_{пл}$ 198 ÷ 200. Раств-сть: н. р. H_2O; р. $CHCl_3$, щел. Ингибитор транспорта в почечных канальцах. Вводится перорально. Быстро абсорбируется из ж. к. т. Частично связывается плазменными белками. Экскреция (свободной формы) с мочой низкая. Медл. образует конъюгат с глюкуроновой кисл. Препятствует выведению орг. кисл. (напр., *n*-аминосалициловой и *n*-аминобензойной). Ингибирует глициновую конъюгацию, препятствуя образованию бензол-CoA.
Прокаин (этокаин; диэтиламиноэтиловый эфир *n*-аминобензойной кислоты)	 *M* 236,3 Гидрохлорид: *M* 272,8	$t_{пл}$ безводн. 61; гидрохлорид 154–156. Раств-сть: р. H_2O, EtOH; м. р. $CHCl_3$, эф.; гидрохлорид р. H_2O; 12,5 95%-ный EtOH; м. р. $CHCl_3$; н. р. эф. Растворы неуст. и медл. окисл., особ. в присутствии тяжелых металлов и щел. Флуоресценция: *A* 275 нм, *F* 345 нм (pH 11). Местный анестетик. Вводится инфильтрацией. Легко абсорбируется при парентеральном приеме. Гидрол. до ПАБК и диэтиламиноэтанола холинэстеразой. Использ. в виде гидрохлорида (иглы). Существует прокаинсульфонамидный антагонизм (мешает определению сульфонамида). При концентрациях 0,2–2,0% используют для блокирования передачи нервного импульса. Антагонист кальмодулина [PNAS **78**, 795 (1981)].
Пропилтиоурацил (6-пропил-2-тиоурацил)	 *M* 170,2	Бел. крист. Горький вкус. $t_{пл}$ 219. Раств-сть: м. р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$, эф.; н. р. бенз. Стимулирует увел. размеров щитовидной железы. Вводится перорально. Легко абсорбирует из ж. к. т. 60% разрушается, 40% экскретируется через 24 ч. Препятствует синтезу тироксина, триодотиронина. В ответ на секрецию тиреотропного гор-

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
		мона возникает гиперплазия щитовидной железы. Менее токсичен, чем тиоурацил.
Пропранолол (индерал; пропанолол; анаприлин)	 *M* 259,3	(±): $t_{пл}$ 96. (+) или (−) $t_{пл}$ 73. Раств-сть: м. р. циклогексан; р. EtOH. Нейтр. или щел. водн. раств. разл. с обесцвечиванием. Более уст. при pH 3. β-Адреноблокатор; устраняет индуцированные уабаином аритмии. Вводится перорально, в. в. Макс. конц. в плазме крови достигается через 1–2 ч. Продукты разл. в значительной степени экскретируются с мочой в течение 24 ч. (−)-Изомер гораздо более активен в блокировании стимуляции β-адренорецепторов.
	Гидрохлорид: *M* 295,8	$t_{пл}$ (±) 163–164. (+) или (−) 192. Раств-сть: р. H_2O; EtOH; н. р. эф., бенз., Et-ацетате.
Простагландины		Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. MeOH, EtOH, Et-ацетат, $CHCl_3$. Все оказывают комплексное действие на репродуктивную, дыхательную, сердечно-сосудистую системы, ж. к. т. и мобилизуют свободные жирные кисл. из жировых тканей. Антагонисты гипотеизивного и диуретического действия ангиотензина. Вводятся в. в. (могут действовать на кровеносные сосуды). Могут абсорбироваться из ж. к. т., при этом могут затрагиваться моторика и секреция последнего. Быстро катаболизируются, особ. в легких. Обычно неуст. в водн. раств. с кисл. или щел. pH. Макс. уст. PGE_1 и PGE_2 при pH 6–7. $PGF_{1\alpha}$ и $PGF_{2\alpha}$ уст. при pH 5–11 при комн. т., но разл. в более кисл. усл. См. обзоры [J. Pharmaceutical Sciences **61**, 1861 (1972); Prog. Chem. Fats and other Lipids **9**, 233 (1968); Meth. Enzymol. **86** (1982); Prostaglandins (ed. J. B. Lee), Elsevier, New York, 1982].
E_1 (11α-15(S)-дигидрокси-9-оксо-13-*транс*-простеновая кислота; PGE_1	 *M* 354,5	$t_{пл}$ 115 ÷ 117. $[\alpha]_{578}$ − 61,6 (c = 0,56 в тетрагидрофуране).
E_2 (11α-15(S)-дигидрокси-9-оксо-5-*цис*, 13-*транс*-простадиеновая кислота; PGE_2)	 *M* 352,5	$t_{пл}$ 68 ÷ 69. $[\alpha]_D^{26}$ − 61 (c = 1 в тетрагидрофуране).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
A_1 (15(S)-гидрокси-9-оксо-10,13-*транс*-простадиеновая кислота; PGA_1)	 *M* 336,5	$t_{пл}$ 42 ÷ 44.
A_2 (15(S)-гидрокси-9-оксо-5-*цис*,10,13-*транс*-простатриеновая кислота; PGA_2)	 *M* 334,5	
$F_{1\alpha}$ (9α,11α,15(S)-тригидрокси-13-*транс*-простеновая кислота; $PGF_{1\alpha}$)	 *M* 356,5	$t_{пл}$ 102 ÷ 103.
$F_{2\alpha}$ (9α,11α,15(S)-тригидрокси-5-*цис*,13-*транс*-простадиеновая кислота; $PGF_{2\alpha}$)	 *M* 354,5	$t_{пл}$ 25 ÷ 35. $[\alpha]_D^{25}$ +23,5 (*c* = 1 в тетрагидрофуране).
Резерпин (3,4,5-триметоксибензоилметилрезерпат; серпазил)	 *M* 608,9	Удлиненные призмы. $t_{пл}$ 264 ÷ 265 (разл.). pK_a 6,6. Раств-сть: р. $CHCl_3$, бенз., лед. укс. кисл.; ум. р. H_2O; гидрохлорид р. H_2O; H_2SO_4: р. H_2O. Флуоресценция: *A* 300 нм, *F* 375 нм (pH 1). Гипотензивный транквилизатор. Седативное действие. Вводится перорально, п. к. Абсорбируется из ж. к. т. У мышей экскретируется с мочой в виде триметоксибензойной кислоты. До 15% экскретируется с фекалиями в неизмененном виде. Освобождает катехоламины и 5-гидрокситриптамин из тканевых запасов. По-видимому, взаимодействует с рецепторами 4-аминобутирата на поверхности постсинаптических мембраи, препятствуя т. обр. накоплению избытка ингибиторного переносчика – глицина.
Стрихнин	 Суммарная формула: $C_{21}H_{22}N_2O_2$ *M* 334,4	Бесцв. ромб. крист. с очень горьким вкусом. $t_{пл}$ 268 (разл.). Раств-сть: р. $CHCl_3$; м. р. бенз., EtOH, ум. р. H_2O, эф. Подавляет постсинаптическое торможение. Вызывает судороги. Вводится перорально и в. м. Легко абсорбируется из ж. к. т. и мест инъекций. Быстро проникает в ткани, особ. ц. н. с.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
		Значительная часть разл. печенью, оставшаяся – экскретируется в неизменном виде.
	Гидрохлорид $C_{21}H_{22}N_2O_2 \cdot HCl \cdot 2H_2O$: *M* 406,9	Крист., выветриваются. Раств-сть: р. H_2O; м. р. $CHCl_3$, EtOH: н. р. эф.
	Сульфат $(C_{21}H_{22}N_2O_2)_2 \cdot H_2SO_4 \cdot 5H_2O$: *M* 857,0	Крист., выветриваются. Безводн. $t_{разл}$ 200. Раств-сть: р. H_2O; м. р. $CHCl_3$, EtOH; н. р. эф.
Тетраэтиламмонийхлорид (ТЭА-хлорид; этамонхлорид)	$(C_2H_5)_4N^+Cl^-$ *M* 165,7 (безводн.)	Распл. крист. $+4H_2O$ призмы. $t_{пл}$ 37,5. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$, ац. Ганглиоблокатор. Блокирует передачу нервного возбуждения в симпатических и парасимпатических ганглиях. Повышает порог возбуждения для ацетилхолина. Вводится в. м. Плохо абсорбируется из ж. к. т. Быстрая кол-венная экскреция (клубочкового и канальцевого типа) почками.
Тубокураринхлорид (*d*-тубокураринхлорид)	 $2Cl^-$ $5H_2O$ Безводн.: *M* 695,7 Гидрат: *M* 785,8	Гекс. и пентаг. пластинки (из H_2O). Безводн.: $t_{разл}$ 274 ÷ 275; гидрат: $t_{разл}$ 268 ÷ 269. Раств-сть: р. щел.; ум. р. H_2O, EtOH, MeOH; н. р. $CHCl_3$, ац., пир. Четвертичное основание выделяется из *Chondrodendron tomentosum*. В присутствии влаги безводн. форма быстро превращается в пентагидрат. Автономный блокатор кратковременного действия. Вводится в. в. (и в. м.). Распределяется по всем тканям организма; не связывается белками плазмы. ~ 30% экскретируется с мочой (человек).
Уретан (этилкарбамат)	$NH_2COOC_2H_5$ *M* 89,1	Бел. призмы или иглы. Солен. вкус. $t_{пл}$ 50. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$, эф.; р. растительные масла, глицерин. Цитотоксический, митотический ингибитор; слабое снотворное. Вводится перорально и в. б. Быстро абсорбируется из ж. к. т., большая часть быстро метаболизируется. Механизм цитотоксического действия не определен. Менее сильный агент, чем азотный иприт. Использ. как анестетик для мелких животных (1,2–1,5 г/кг в. б.) и рыб (1 : 40 000 в H_2O).
Феноксибензамин (дибензилин; дибенилин; N-(2-хлороэтил)-N-(1-метил-2-феноксиэтил)бензиламин)	 *M* 303,8	$t_{пл}$ 38 ÷ 40; гидрохлорид 137,5 ÷ 140. Раств-сть: р. бенз.; гидрохлорид р. EtOH, пропиленгликоль, $CHCl_3$; ум. р. H_2O. Адренергический блокатор. Вводится в. в. и перорально. 20–30% абсорбируется из ж. к. т.; макс. эффект через 1 ч после в. в. инъекции. 50% экскретируется с мочой и желчью за 12 ч. Не блокирует ингибиторный

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства, действие, путь введения в организм, абсорбция и метаболизм
		адренергический ответ. В. в. следует вводить медл. Хранить в конц. раств. при pH 2,5 ÷ 3.
Фентоламин (регитин)	 *M* 281,4	$t_{пл}$ 174 ÷ 175. Водн. раств. разл., особ. в присутствии солей Fe. α-Адренергический блокатор. Вводится перорально и в. в. (в 4 раза более активен). У человека 5% пероральной дозы и 10% в. в. дозы экскретируется с мочой.
	Гидрохлорид: *M* 317,9	$t_{пл}$ 239. Раств-сть: м. р. H_2O, EtOH; н. р. ац., Et-ацетат.
Хлорпромазин (10-γ-диметиламинопропил)-2-хлорофенотиазингидрохлорид; торазин; аминазин; ларгактил)	 *M* 355,3	Св.-серый порошок, чувствительный к свету. $t_{пл}$ 179 ÷ 180. Раств-сть: р. H_2O, $CHCl_3$, EtOH, MeOH. 5%-ный водн. раств. уст. ⩾ 1 сут и имеет pH 4,9. Флуоресценция: *A* 350 нм, *F* 480 нм (pH 11). Депрессант ц. н. с., адреналитическое, противоаритмическое, противоотечное, противовоспалительное, жаропонижающее, антиэметическое, местноанестезирующее действие. Вводится перорально и в. м. Легко абсорбируется из ж. к. т. Макс. конц. в крови наблюдается 3 ч. Распределение по тканям или метаболизм неизвестны. Незначительно экскретируется с мочой (7–8% – у кроликов). Метаболизируется до сульфоксида. Усиливает действие анальгезирующих и снотворных средств и нарушает условные рефлексы. Использ. как ингибитор кальмодулина. См. разд. 13, Г.
Эфедрин (*l*-эфедрин; α-(1-метиламиноэтил)бензиловый спирт; *l*-1-фенил-2-метиламинопропанол)	 *M* 165,2	Воскоподобные кристаллы; разл. на свету. $t_{пл}$ 38. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$, эф., масла. Водн. раств. уст. к действию света, возд. и нагрев. Симпатомиметик. Конкурентный ингибитор холиндегидрогеназы. Вводится перорально и п. к. Легко абсорбируется из ж. к. т. > 50% выводится почками за 12 ч. Не изменяется в организме человека. У собак экскретируется гл. обр. в виде норэфедрина. Главный алкалоид, выделяемый из *Ephedra*.
	Гидрохлорид: *M* 201,7	Бел. иглы $t_{пл}$ 216 ÷ 220. Раств-сть: гидрохлорид (и сульфат) р. H_2O, EtOH; н. р. эф.

15. Синтетические и природные субстраты

A. Доноры, переносчики и акцепторы электронов

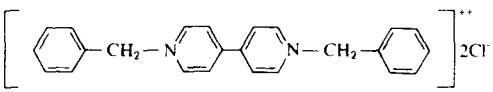
Литература

Bendall D. S., Electron and Proton Transfer in Chloroplasts, Ch. 2 in: International Review of Biochemistry, vol. 13, Plant Biochemistry II, D. H. Northcote (ed.), University Park Press, Baltimore, 1977, p. 41.
Clark W. M., Oxidation-reduction Potentials of Organic Systems, Bailière Tindall and Cox, London, 1960.
Hauska G., Artificial Acceptors and Donors, Ch. II. 15 in: The Encyclopedia of Plant Physiology (N. S.) vol. 5, Photosynthesis I, A. Trebst, M. Avron (eds.) Springer-Verlag, Berlin, 1977, p. 253.
Trebst A., Measurement of Hill Reactions and Photoreduction, Ch. 14 in: Meth. Enzymol. **24**, Photosynthesis and Nitrogen Fixation, Part B. A. San Pietro (ed.), Academic Press, New York, 1972, p. 146.

Соединение (синонимы)	Молекулярная масса и формула	Свойства и другие данные

Аскорбиновая кислота
(см. гл. 6)

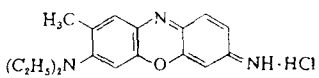
Бензилвиологен (1,1′-дибензил-4,4′-дипиридилийдихлорид)



M 409,4

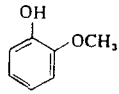
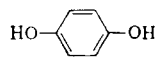
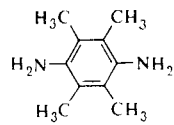
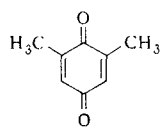
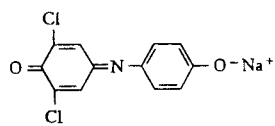
Бесцв. крист. E'_0 −0,359 В (30 °C; не зависит от pH). Раств-сть: р. H_2O, MeOH; и. р. ац. Слабый акцептор и переносчик электронов. Окисленная форма от бесцветн. до св.-желт., восстановленная – от синей до фиол. Восстановленная форма о. легко окисл. O_2; бензилвиологен использ. либо в анаэробных усл., либо как переносчик электронов к O_2 или неаутоокисляющимся акцепторам. В восстановленной форме использ. как донор электронов. Восстанавливается дитионитом, боргидридом. Устойчивое восстановленное соединение образуется при нейтральных pH путем добавления 1 е. Восстановленное соединение: λ_{max} 555 нм (комн. т.). При повышении темп. пик при 555 нм уменьш. и появляется пик при 598 нм, при 80 °C появляется только пик при 598 нм.

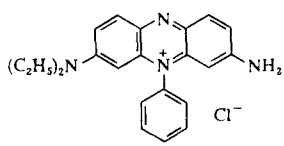
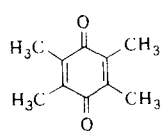
Бриллиантовый крезиловый синий (7-диэтиламино-3-имино-8-метил-3H-феноксазингидрохлорид)

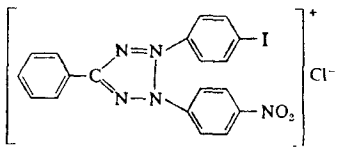
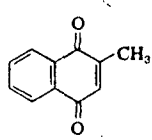


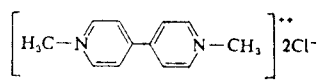
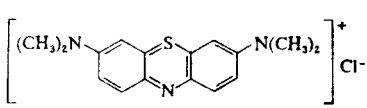
M 317,8
Гидрат: *M* 335,8

Зеленые иглы $+1H_2O$ из разб. EtOH; E'_0 +0,047 В (pH 7, 30 °C). Раств-сть: р. H_2O, EtOH, ац., лед. укс. кисл.; н. р. эф. бенз. Акцептор электронов. Окисленная форма синего цвета; восстановленная форма бесцветна. Восстанавливается флавопротеиновыми ферментами, но не восстанавливается растворимой сукцинатдегидрогеназой. Неуст. в водн. раств., особ. щел., или в тв. виде в присутствии H_2O. Спектр зависит от

Соединение (синонимы)	Молекулярная масса и формула	Свойства и другие данные
		нонц.; при 40 мг/л λ_{max} 625 нм, при 1 г/л λ_{max} 575 нм. Восстанавливается дитионитом. Перекр. из петр. эф. В продажу поступает в виде диэтиламинопроизводного, а также диметиламинопроизводного (в частности, это относится к ранним публикациям), которое обладает аналогичными свойствами. Восстановленное соединение: при pH > 7 (но не pH < 6,4) окисл. возд.; окисл. феррицианидом при всех pH.
Гваякол (*o*-гидроксианизол; *o*-метоксифенол)	 *M* 124,1	Бел. или св. желт. крист. масса или желт. жидк. $t_{пл}$ 28. $t_{кип}$ 204–206. Раств-сть: 1,5 H_2O; ∞EtOH, $CHCl_3$, эф., лед. укс. кисл. Донор H при определении активности пероксидазы [Meth. Biochem. Anal. **1**, 357 (1954)].При окисл. образует тетрагваякол (λ_{max} 470 нм). Окраска быстро выцветает. Беречь от света.
Гидрохинон (хинол; 1,4-дигидроксибензол; бензидиол-1,4)	 *M* 110,1	Бесцв. гексагон. призмы. Диморфен. Уст. форма из H_2O. $t_{пл}$ 170 ÷ 171. $t_{кип}$ 286 ÷ 287. pK_a 9,85; 11,4. E'_0 +0,285 В (pH 7, 25 °C). Раств-сть: 7 H_2O; р. EtOH, эф., ац., м. р. бенз. Донор электроиов. Восстанавливает цитохром *c*. Антиоксидант. Храиить хорошо закрытым в защищенном от света месте. Раств. окисл. на возд., о. быстро в присутствии щел.
Диаминодурол (DAD; 2,3,5,6-тетраметил-*n*-фенилендиамин)	 *M* 164,2	E'_0 +0,3 В (pH 6,2). pK_a 4,3. $t_{пл}$ 153. Раств-сть: р. EtOH. Донор электроиов для ФСI, наиболее распространенный у хлоропластов [Meth. Enzymol. **24**, 162 (1972)].
2,6-Диметилбензохинон (DMBQ; DMQ; ДМБХ; ДМХ)	 *M* 136,2	Желт. крист. E'_0 +018 В (pH 7, 25 °C). Раств-сть: р. EtOH. Акцептор электроиов для ФСII. 2,5-Диметилбензохинон: использ. аналогично.
2,6-Дихлорофенолиидофенол, Na-соль (2,6-дихлороиндофенол; N-(*n*-гидроксифенил)-2,6-дихлоро-*n*-бензохинонимин; DCPIP; DPIP; ДХФИФ; ДФИФ)	 *M* 290,1 Гидрат: *M* 326,1 Свободная кислота: *M* 268,1	Темно-зелен. порошок +2H_2O; степеиь гидратации варьирует. E'_0 +0,217 В (pH 7, 30 °C). Окисленная форма: pK_a 5,9. Восстановленная форма: pK_a 7,0; 10,1. λ_{max} ~600 нм, ε_{600} 22000 (pH 7) [BBA **86**, 194 (1964)]. Раств-сть: р. H_2O; х. р. EtOH. Акцептор электронов для ФСII. Окисленная форма при нейтр.

Соединение (синонимы)	Молекулярная масса и формула	Свойства и другие данные
		pH имеет синюю окраску, при кисл.– розовую; восстановленная форма бесцветная. Восстанавливается флавопротеиновыми ферментами; использ. для определения их активности, часто совместно с феназинметосульфатом в качестве промежуточного переносчика электронов. Добавление феназинметосульфата позволяет соединяться с никотинамиднуклеотидсвязанными дегидрогеназами. Восстановленная форма о. медл. окисл. O_2, так что нет необходимости удалять возд. Использ. в объемном анализе, напр. при определении аскорбиновой кисл. В тв. виде уст. на возд. в темноте несколько лет, разл. под действием тепла и света. Водн. раств. медл. разл. при нейтр. pH, быстро при pH <3 или в крепкой щел.; при использ. в объемометрическом анализе, титр должен определяться ежедневно. Восстанавливается аскорбиновой кисл., дитионитом, борогидридом, восстановленным феназинметосульфатом, восстановленными убихинонами, восстановленным витамином K. Коммерческие препараты часто содержат примеси. Очищается повторным переводом кислотной формы в эфир и щелочной формы в смесь карбоната и бикарбоната. Из карбонат-бикарбонатной смеси осаждается при добавлении NaCl.
Диэтилсафранин (3-(диэтиламино)-7-амино-5-фенилфеназинийхлорид)	 *M* 378,9	E'_0 −0,251 В (pH 7). λ_{max} 555 нм, $\varepsilon \sim 49000$. Раств-сть: р. H_2O. Восстановленное соед. использ. как донор H в реакции с участием фумаратредуктазы [Meth. Biochem. Anal. **4**, 307 (1957)], а также в др. аналогичных реакциях. Окисленная форма окрашена в красный цвет, восстановленная бесцветна. Восстановленная форма о. легко окисл. O_2 и обычно получается in situ действием дитионита на окисленную форму. Неуст. к кисл. и возд.; ежедневно следует готовить свежий препарат. Обычно содержит примеси, так как исходное в-во, Янус зеленый B, также содержит примеси.
Дурохинон (2,3,5,6-тетраметилциклогександиен-2,5-дион-1,4; тетраметил-*п*-бензохинон)	 *M* 164,2	Желт. крист. $t_{пл}$ 110 ÷ 112, E'_0 +0,05 В (pH 7, 25 °C). Раств-сть: р. EtOH. Акцептор электронов для митохондрий и хлоропластов. Восстановление до дурогидрохинона [FEBS Lett. **96**, 252 (1978)].

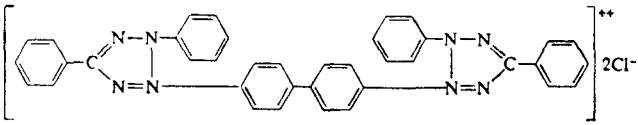
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Иодонитротетразолийхлорид (2-*п*-иодофенил-3-*п*-нитрофенил-5-фенил-2Н-тетразолийхлорид; INT: ИНТ)	 *M* 505,7	Темно-желт. или кремовый порошок. $t_{пл}$ 245 (разл.). Восстановленная форма: красновато-пурпурные иглы. $t_{пл}$ 185 ÷ ÷ 186. Раств-сть: 0,5^{25} H_2O; восстановленная форма н. р. H_2O; р. многие орг. раств-ли. Акцептор электронов. Окисленная форма бесцветна, восстановленная форма окрашена в красновато-пурпурный цвет. Легко восстанавливается флавопротеиновыми ферментами; скорость может возрастать в присутствии промежуточных переносчиков электронов, таких, как феназинметосульфат. Использ. для определения активности дегидрогеназ, т. к. способен неферментативно соединяться с NADH или NADPH в присутствии феназинметосульфата [JBC **235**, 499 (1960); Analyt. Biochem. **1**, 317 (1960)]. Гораздо менее фотолабилен, чем трифенилтетразолий. Раств. уст. при 5 °С несколько мес. Восстанавливается восстанавливающими сахарами, аскорбиновой кисл., NH_2OH в щел. раств., восстановленным феназинметосульфатом, восстановленными убихинонами, восстановленным витамином К при нейтр. pH. Восстановленная форма (формазан): λ_{max} ~500 нм (слегка меняется в зависимости от раств-ля). Не окисл. O_2.
Калия феррицианид	$K_3[Fe(CN)_6]$ *M* 329,3	Монокл. красные крист. Разл. при нагрев. E'_0 + 0,42 В (pH > 3,5, 25 °С). Раств-сть: 48,8^{25} H_2O; м. р. MeOH, EtOH, ац. Акцептор электронов для ФСII и мягкий окисл. Восстановление может сопровождаться уменьш. поглощения при 420 нм (ε 1020). Восстанавливается в нескольких местах вдоль электронотранспортной цепи. Окисл. восстановленный цитохром *c*; окислительно-восстановительный потенциал в различных усл. см. [BBA **292**, 509 (1973)]. Водн. раств. медл. разл. при стоянии; надо беречь от действия света. Окисляет гр. —SH до —S—S—.
Менадион (витамин K_3; менафтон; 2-метил-1,4-нафтохинон; менахинон)	 *M* 172,2	Ярко-желт. иглы; $t_{пл}$ 105 ÷ 107. E'_0 0 В (pH 7, 25 °С). Раств-сть: 1,7 EtOH; 10 бенз.; р. эф., $CHCl_3$, CCl_4; н. р. H_2O. Переносчик электронов. Восстанавливается флавопротеиновыми ферментами. Процесс окисления – восстановления можно контролировать по поглощению при 262 нм. Часто использ. как переносчик электронов к O_2 или неаутоокисляющимся акцепторам, таким, как индофенолы или соли тетразолия. О влиянии pH на окислитель-

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		но-восстановительный потенциал см. [FEBS Lett. **105**, 189 (1979)]. Кофактор циклического фотофосфорилирования. Уст. на возд., но разл. под действием солнечного света. Раств. уст. при 120 °C, но разл. в присутствии восстановителей или щел. В гексане λ_{max} 244, 253, 264 и 328 нм (ε 19800, 19700, 16800 и 3100). В водн. буфере (pH 6,24) λ_{max} 250, 236–264 и 340 нм. Восстановленная форма менадиол: серо-бел. порошок; $t_{пл}$ 160 ÷ 167; получ. см. [JBC **133**, 391 (1940)]; λ_{max} 241 и 330 нм (в водн. буфере, pH 6,24); pK_a 9,5; ~ 11,0; легко окисл. возд. при нейтр. или щел. pH; о. медл. окисл. при pH ⩽ 6,3.
Метилвиологен (1,1′-диметил-4,4′-дипиридилийдихлорид: паракват)	 *M* 257,2 + $3H_2O$: *M* 311,3	Бесцв. иглы + $3H_2O$. Теряет H_2O при 50 °C; E'_0 −0,446 В (30 °C, не зависит от pH). Раств-сть: р. H_2O, MeOH; н. р. ац. Акцептор электронов; о. низкий окислительно-восстановит. потенциал. Окисленная форма бесцветна, восстановленная форма окрашена от синего до фиол. цвета. Восстановленная форма легко окисл. O_2, поэтому метилвиологен использ. в анаэробных усл. или как переносчик электронов к O_2 или неаутоокисляющемуся акцептору. Восстановленное соединение использ. как донор электронов, напр. в гидрогеназной р-ции. Восстанавливается дитионитом, борогидридом. Уст. восстановленная форма образуется при нейтр. pH путем принятия 1е. 1,1′-Диметил-4,4′-дипиридилий-ион (обычно в виде диметосульфата)–гербицид, известный как «паракват». Определение см. [Nature, Lond. **199**, 1011 (1963)]. Восстановленное соединение: λ_{max} 601 нм, пл. при 570 нм.
Метиленовый синий (метилтионийхлорид; 3,7-бис(диметиламинофеназатионийхлорид)	 *M* 319,9 (безводн.)	Темно-зелен. крист. + 3 ÷ 5 H_2O. E'_0 + 0,011 В (pH 7, 30 °C). Раств-сть: 4,3 H_2O; 1,5 EtOH; м. р. $CHCl_3$; н. р.эф.; восстановленная форма о. п. р. H_2O. Акцептор электронов. Окисленная форма синего цвета; восстановленная форма бесцветна. Восстанавливается флавопротеиновыми ферментами, но не восстанавливается растворимой сукинатдегидрогеназой; скорость восстановления часто возрастает под влиянием промежуточных переносчиков электронов, таких, как феназинметосульфат. Восстановленная форма легко вновь окисл. на возд., т. обр. метиленовый синий использ. в анаэробных усл. или как переносчик электронов к O_2. При

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		хранении в тв. виде и особ. в раств. окисл. с образованием деметилированных форм. Теряет крист. H_2O, при этом частично разл. Спектр зависит от конц.; при 10^{-5} М λ_{max} 665 нм; $> 10^{-4}$ М главный пик находится между 610 и 570 нм с тенденцией к понижению λ_{max} при более высоких конц. Интенсивность пика при 665 нм падает, и при 10^{-3} М пик фактически исчезает [JACS **77**, 4197 (1965)]. Восстанавливается дитионитом, восстановленными флавинами, восстановленным феназинметосульфатом, восстановленными хинонами. Обладает активностью витамина Е. Восстановленное соединение: способен прилипать к стеклянным поверхностям; окисл. O_2 или в анаэробных усл. под действием света; скорость окисл. увел. с увел. pH. Уст. над N_2 в темноте.
Натрия борогидрид	$NaBH_4$ *M* 37,8	Куб. крист. Разл. > 300. Раств-сть: 10 изопропиламин; 3 пир.; 1 морфолин; 0,8 диметилцеллозольв; р. H_2O; м.р. тетрагидрофуран. Мощный восстановитель, восстанавливает многие физиологические и искусственные переносчики электронов. Восстанавливает шиффовы основания пиридоксальфосфата до образования устойчивых гр. $—CH_2—NH—$. Тв. в-во уст., если высушено, разл. под действием влажного воздуха, медл. реагирует с H_2O при комн. т., еще более медл. при добавлении NaOH.
Натрия дитионит (гидросульфит натрия; сульфоксилат натрия)	$Na_2S_2O_4 \cdot 2H_2O$ *M* 210,2 Безводн.: *M* 174,1	Монокл. крист. или желт. порошок. $t_{разл}$ 52. pK_a 2,4; 6,4. λ_{max} 314 нм, ε 8000. Окислительно-восстановительные потенциалы см. [EJB **85**, 535 (1978)]. Раств-сть: $25,4^{20}$ H_2O; р. щел., разб. кисл.; ум. р. EtOH. Мощный восстановитель, использ. для восстановления многих физиологических и искусственных переносчиков электронов, включая NAD, NADP, флавины и цитохромы. Легко окисл. O_2 возд., если находится в раств. или, будучи в тв. состоянии, содержит влагу; сухое тв. в-во окисл. о. медл. Раств. обычно готовят в буфере, предпочтительнее pH > 7,5. В раств. выделяет SO_2.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства

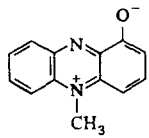
Неотетразолийхлорид (3,3′-(4,4′-бифенилен)-бис(2,5-дифенил-2H-тетразолийхлорид); NeoT; NT)



M 667,6

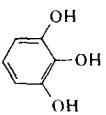
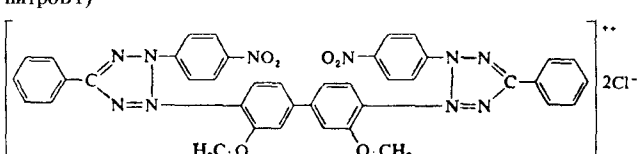
Бесцв. иглы; $t_{пл}$ 230 (разл.). Восстановленная форма; темно-фиол. иглы. $t_{пл}$ 219 ÷ 220 (разл.). Раств-сть: р. H_2O; 5 MeOH; восстановленная форма: н. р. H_2O; р. многие орг. раств-ли. Акцептор электронов. Окисленная форма св.-желт. цвета, восстановленная форма бисформазан цвета фуксина. Восстанавливается флавопротеиновыми ферментами, скорость восстановления увел. в присутствии промежуточных переносчиков электронов, таких, как феназинметосульфат. Использ. для определения активности сукцинококсидазы [BJ **73**. 314 (1959)]. Нечувствителен к солнечному свету, не наблюдается разл. раств. под действием прямого солнечного света в течение ⩽ 4 ч. Восстанавливается восстанавливающими сахарами, аскорбиновой кисл., NH_2OH при щел. pH, восстановленным феназинметосульфатом, восстановленными убихинонами, восстановленным витамином K_3 при нейтр. pH. Восстановленное соединение: λ_{max} ~ 520 нм (широко варьирует в зависимости от раств-ля). Не окисл. O_2.

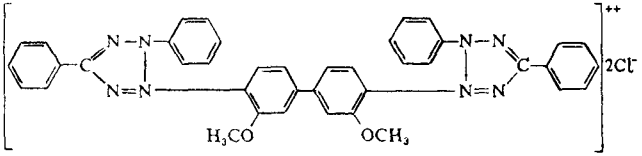
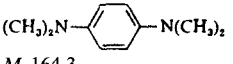
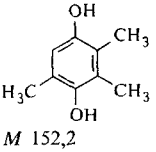
Пиоцианин

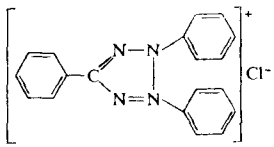
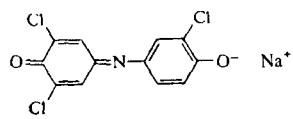


M 210,2
Гидрат: *M* 228,3

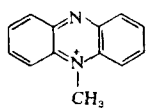
Темно-синие иглы $+1H_2O$ из H_2O. Теряет H_2O в вакууме над P_2O_5 при 50 °C. $t_{пл}$ 133. E'_0 −0,034 В (pH 7, 30 °C). Раств-сть: х. р. $CHCl_3$; р. гор. H_2O, гор. EtOH, ац., лед. укс. кисл., пир., феноле, Et-ацетате; м. р. хол. H_2O, бенз.; н. р. эф., петр. эф., CCl_4. Акцептор и переносчик электронов. Получ. см. [Org. Synth. Coll. **3**, 753 (1955); JCS **1937**, 1704]. Окисленная форма окрашена в синий цвет, восстановленная бесцветна. О. эффективный кофактор циклического фотофосфорилирования [Pl. Physiol. **34**, 240 (1959)]. Восстановленный пиоцианин использ. как донор электронов для фумаратредуктазы; лучше всего получать ферментативно из тканевых преп. + NADH [JBC **229**, 755 (1957)]. Тв. в-во уст. несколько нед. при хранении в сухом темном месте, разл. при длительном стоянии. Восстанавливается дитионитом, борогидридом и в щел. раств. глюкозой. Образуется в культуре *Pseudomonas aeruginosa*. λ_{max} 239, 312, 379 и 690 нм (pH 7 ÷ 8), ε_{700} 3400 (pH 7). Восстановленное соединение: о. быстро окисл. O_2.

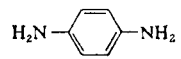
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Пирогаллол (1,2,3-тригидроксибензол)	 *M* 126,1	Бел. крист. $t_{пл}$ 133. $t_{кип}$ 309. pK_a 9,0. Раств-сть: 62,5^{25} H_2O; 78^{25} EtOH; 64^{25} эф., м.р. бенз., $CHCl_3$, CS_2. Донор Н при определении активности пероксидазы [Meth. Biochem. Anal. **1**, 357 (1954)]. При окислении образует пурпурогаллин (λ_{max} 430 нм, ε 2470). Поглощает O_2 в сильно щел. раств. Ядовит. Хранить в хорошо закрытых сосудах в защищенном от света месте. Водн. раств. окисл. на возд. (быстрее щел. раств.). Сильный восстановитель.
Пластохинон *см.* гл. 6		
Тетразолиевый нитросиний (3,3′-(3,3′-диметокси-4,4′-дифенилен)-бис[2-(*п*-нитрофенил)-5-фенил-2Н-тетразолийхлорид]; нитроВТ)	 *M* 817,7	Крист., содержащие раств-ль. Тригидрат: $t_{пл}$ 156 (разл.). Безводн. гидроксид-хлорид: $t_{пл}$ 134. Восстановленная форма: черные крист. $t_{пл}$ 270 ÷ 272 (разл.). Раств-сть: р. H_2O; восстановленная форма н.р. H_2O; р. многие орг. раств-ли. Акцептор электронов. Окисленная форма бесцветна; восстановленная форма бисформазан окрашена от синего до черного цвета. Быстро восстанавливается флавопротеиновыми ферментами, скорость восстановления увел. в присутствии переносчиков электронов, таких, как феназинметосульфат. Наиболее широко использ. соль тетразолия, при гистохимическом определении дегидрогеназ [*Burstone*, Enzyme Histochemistry, Academic Press, 1962]. Использ. вместе с феназинметосульфатом для определения дегидрогеназ методом электрофореза [Meth. Enzymol. **6**, 958 (1963)]. Немного фотолабилен. Восстановленное соединение бисформазан; обладает значительным сродством к белкам, напр., не экстрагируется в Et-ацетат из водн. суспензии, содержащей желатин; λ_{max} ~550 нм (широко варьирует в зависимости от раств-ля).

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Тетразолиевый синий (3,3′-(3,3′-диметокси-4,4′-дифенилен)-бис(2,5-дифенил-2Н-тетразолийхлорид); синий Т; ВТ)	 *M* 727,7	Желт. иглы. $t_{пл}$ 245 ÷ 247 (разл.) Раств-сть: м. р. H_2O; х. р. MeOH, EtOH, $CHCl_3$; н. р. ац., эф., Et-ацетат. Акцептор электронов. Окисленная форма бесцветна; восстановленная форма бисформазан окрашена от синего до черного. Восстанавливается флавопротеиновыми ферментами, скорость восстановления увел. в присутствии промежуточных переносчиков электронов, таких, как феназинметосульфат. Акцептор Н в р-ции Хилла. Использ. для кол-венного и качественного определения восстанавливающих стероидов на хроматограммах, особ. адренокортикоидных стероидов с α-оксогруппой. Немного фотолабилен.
		Восстановленное соединение: сине-черные иглы. $t_{пл}$ 244. Раств-сть: н. р. H_2O; р. многие орг. раств-ли. λ_{max} ~520 нм (в EtOH), широко варьирует в др. раств-лях. Не окисл. O_2.
N,N,N′,N′-Тетраметил-*n*-фенилендиамин (TMPD)	 *M* 164,3 Дигидрохлорид: *M* 237,2	Листочки из водн. EtOH или лигронна; $t_{пл}$ 51. $t_{кип}$ 260; E'_0 +0,26 В (pH 7). Раств-сть: х. р. EtOH, эф., $CHCl_3$, бенз.; р. лигроин; ум. р. H_2O. Донор электронов. Восстанавливает цитохром *c*; в каталитических кол-вах обычно использ. совместно с аскорбатом в качестве основного донора электронов. Хранить в тв. виде в защищенном от света месте. Раств. неуст. Окисленная форма (синий Вурстера) – уст. свободный радикал; λ_{max} 560 нм (ε 12100) и 606 нм (ε 11600). Получ см. [JACS **65**, 1747 (1948)]. Дигидрохлорид: крист.; $t_{пл}$ 222 ÷ 224; раств-сть: $10H_2O$.
Триметилгидрохинон (3,6-дигидроксипсевдокумол; 1,4-дигидрокси-2,3,5-триметилбензол)	 *M* 152,2	E'_0 +0,115 В (pH 7, 25 °C). $t_{пл}$ 169 ÷ 172. Раств-сть: 10 MeOH. Донор электронов. Потенциалы полувосстановления триметилбензохиноновой системы как функция pH приведены в [International Review of Biochemistry **13**, p. 66], но следует отметить, что потенциалы семихинонов должны быть ближе друг к другу на 30 мВ, чем это указано в этой работе.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Трифенилтетразолийхлорид (2,3,5-трифенилтетразолий-хлорид; соль тетразолия; TTZ; TTC)	 *M* 334,8	Сольватированные иглы. Теряет раств-ль при нагрев. $t_{пл}$ 243 (разл.). E'_0 −0,080 В (pH 7). Восстановленная форма: красные листочки $t_{пл}$. 173,5. Раств-сть: 25 H_2O; р. MeOH, EtOH; м. р. ац., $CHCl_3$; н. р. эф.; восстановленная форма н. р. H_2O; р. многие орг. раств-ли. Акцептор электронов. Окисленная форма от бесцветной до светло-желт., восстановленная форма красная. Медл. восстанавливается флавопротеиновыми ферментами, скорость восстановления возрастает в присутствии промежуточных переносчиков электронов, таких, как феназинметосульфат или пиоцианин. Использ. для определения жизнеспособности семян [Science **113**, 751 (1951)]. Индикатор роста бактерий в биоавтографии [Appl. Microbiol. **2**, 29 (1954)]. Из всех солей тетразолия наименее токсичен для бактерий. Обзор по использ. [Tetrazolium Salts, B. D. H. Ltd., Poole, England]. Желтеет на свету. Разл. под действием видимого или УФ-света. Неэнзиматическое восстановление восстанавливающими сахарами, аскорбиновой кисл., NH_2OH требует щел. pH. Восстановленное соединение формазан: λ_{max} ~490 нм (слегка варьирует в зависимости от раств-ля). Не окисл. O_2.
2,3′,6-Трихлорофенолиндофенол, Na-соль (2,3′,6-трихлороиндофенол; *о*-хлорофенолиндо-2,6-дихлорофенол)	 *M* 324,5 Свободная кислота: *M* 302,5	Зелен. крист. + <17% H_2O; E'_0 +0,219 В (pH 7, 30 °C). Раств-сть: р. H_2O, х. р. EtOH. Акцептор электронов. В нейтр. раств. окисленная форма имеет синюю окраску, восстановленная форма бесцветна. Восстанавливается флавопротеиновыми ферментами. Использ. как акцептор в р-ции Хилла. Восстановленное соединение использ. как донор электронов, напр. для нитратредуктазы. Окисление O_2 протекает о. медл. Тв. в-во уст. на возд. при хранении в темноте, медл. разл. на свету. Водн. раств. разл. при стоянии, особ. при кисл. pH. Восстанавливается аскорбиновой кисл., дитионитом, восстановленным феназинметосульфатом. λ_{max} ~645 им, ε 27000 (pH 7,3). Восстановленное соединение: уст. несколько сут. под H_2 при комн. т.

Убихинон *см.* гл. 6

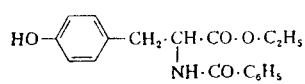
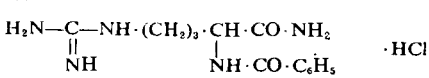
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
Феназинметосульфат (N-метилфеназинийметилсульфат; PMS)	 $CH_3SO_4^-$ *M* 306,3	Параллелепипеды от желт. до коричн. цвета из EtOH. $t_{пл}$ 167. E'_0 +0,080 В (pH 7, 30 °C). Восстановленная форма: $t_{пл}$ 164. Раств-сть: 10 H_2O; восстановленная форма о. п. р. H_2O. Акцептор и переносчик электронов. Окисленная форма желтая, восстановленная форма бесцветная, семихинон иногда бывает зеленым. Быстро восстанавливается флавопротеиновыми ферментами, включая сукцинатдегидрогеназу [Meth. Biochem. Anal. **4**, 307 (1957)]. Восстановленное соединение легко окисл. O_2, так что феназинметосульфат использ. в р-циях определения активности ферментов как переносчик электронов между ферментами и O_2, цитохромом *c* или менее легко аутоокисляющимися акцепторами электронов, напр. индофенолами или солями тетразолия. При аутоокислении дигидрофеназинметосульфата образуется H_2O_2 и, поскольку феназинметосульфат полн. ингибирует каталазу, необходимо обеспечить удаление H_2O_2, напр. с помощью CN^- или 8-гидроксихинолина. Феназинметосульфат восстанавливается неэнзиматически NADH и NADPH; использ. для стыковки дегидрогеназ с др. акцепторами электронов, напр. индофенолами, солями тетразолия. Переносчик электронов при циклическом фотофосфорилировании, стимулирует р-цию Хилла. Восстановленное соединение использ. как донор электронов, напр. для восстановления цитохрома *c* или в фотосинтетических экспериментах. В ферментативных р-циях лучше всего использ. ферментативно восстановленное в-во (тканевый преп. +NADH). Тв. в-во уст. несколько лет при хранении в темноте. Раств. следует готовить в H_2O, а не в нейтр. буферах; такие раств. хранятся замороженными в темноте несколько мес. Неуст. на свету, образует пиоцианин и др. продукты; под действием солнечного света разл. за 5–10 мин, а под действием рассеянного света за несколько ч. Стабилизируется поливалентными катионами. Восстанавливается дитионитом, борогидридом, NADH, NADPH, аскорбиновой кисл., восстановленными убихинонами, восстановленным витамином K. Реагирует с —SH-соединениями, включая —SH-ферменты. λ_{max} 387 нм (ε 26300) (pH 2 ÷ 8); Δε (окисл.-восст.)

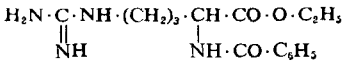
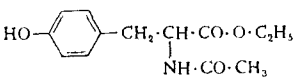
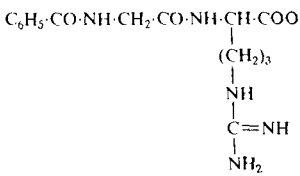
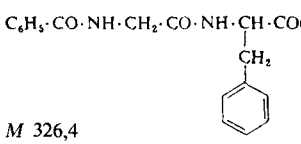
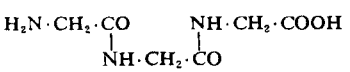
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства
		25000. Восстановленное соединение: в тв. виде можно хранить 2–3 нед. на возд. при −20 °C, а в раств. при рабочей темп. быстро окисл. O_2. Быстро восстанавливает цитохром *c*, индофеноловые красители, соли тетразолия и многие др. акцепторы электронов [Meth. Enzymol. **24**, 162 (1972)].
n-Фенилендиамин (1,4-диаминобензол)	 *M* 108,1 ·2HCl: *M* 181,1	Бел. крист. Темнеет на возд. $t_{пл}$ 145 ÷ 147. $t_{кип}$ 267. pK_a 2,67; 6,16. Раств-сть: 1 H_2O; р. гор. H_2O, EtOH, $CHCl_3$, эф. Донор электронов. Восстанавливает цитохром *c* [Meth. Enzymol. **24**, 161 (1972)]. Хранить в темноте хорошо закрытым.

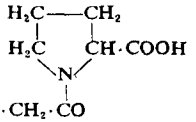
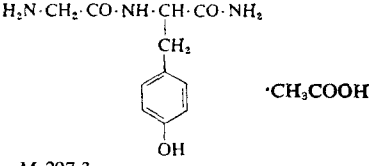
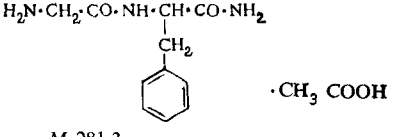
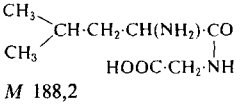
Б. Субстраты пептидаз

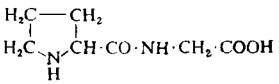
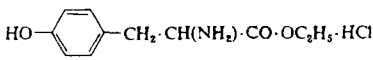
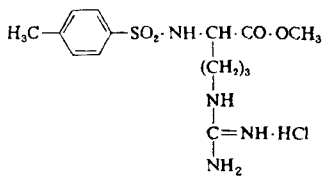
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПЕПТИДАЗ

Методы определения активности пептидаз с использованием природных и синтетических субстратов описаны в [Meth. Biochem. Anal, **2**, 215 (1955); **4**, 171 (1957); Meth. Enzymol. **2**, 3–114 (1955); *Bergmeyer*, Methods of Enzymatic Analysis, pp. 800–836, Academic Press, 1963].

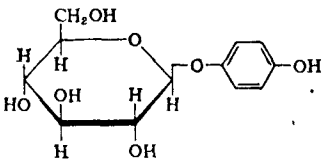
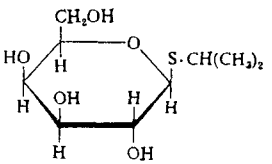
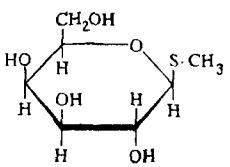
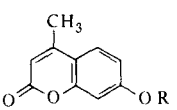
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
N-Ацетил-L-тирозина этиловый эфир	 *M* 251,3 Гидрат: *M* 269,3	Св.-кремовый порошок $+1H_2O$. $t_{пл}$ 87 ÷ 88. $[\alpha]_D^{20}$ +24 ($c = 1$ в EtOH). Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. гор. H_2O. Субстрат для определения активности химотрипсина. За гидрол. следят по снижению поглощения при 237 нм (pH 7) [**BBA 16**, 570 (1955)] или по появлению карбоксильных гр. [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955); **4**, 171 (1957)]. Пересыщенные раств. (0,01 ÷ 0,02 М) уст. в течение 6–12 ч, получают путем раств. при 85°C и быстрого охлаждения до комн. т. (25°C). Более конц. раств. следует хранить при повышенной темп.
α-N-Бензоил-L-аргининамид-гидрохлорид	 ·HCl *M* 313,8 Гидрат: *M* 331,8 Свободное основание: *M* 277,3	Крист. $+1H_2O$. Спекается 120–123. Теряет H_2O 135 ÷ 140. Разл. >260. $[\alpha]_D^{25}$ −17,2 (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения активности трипсина, папаина, катепсина B, фицина, бромелина. Гидрол. контролируют по освобождению карбоксильных гр. или аммиака [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955); Biochem. Preps. **6**, 61 (1958)]. Раств. можно хранить несколько мес. при 5°C в присутствии тимола в качестве стабилизатора.

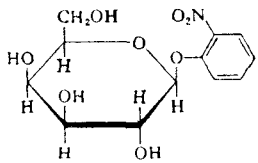
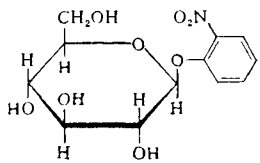
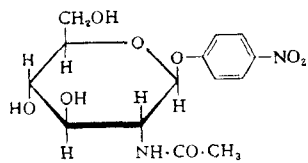
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
α-N-Бензоил-L-аргининэтилатгидрохлорид	 ·HCl *M* 342,8 Свободное основание: *M* 306,4	Гигр. крист. $t_{пл}$ 129,5 ÷ 131. $[\alpha]_D^{22}$ −17,5 (*c* = 2 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения активности трипсина, папаина, фицина. Гидрол. контролируют по увел. поглощения при 253 нм (pH 8) [BBA **16**, 570 (1955)] или по освобождению карбоксильных гр. [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955); **4**, 171 (1957)]. Медл. гидрол. в раств.: за 24 ч при 4°C и pH 8 степень гидрол. 4%.
N-Бензоил-L-тирозина этиловый эфир	 *M* 313,4 (у азота вместо $COCH_3$ должна быть группа COC_6H_5)	Крист. $t_{пл}$ 122 ÷ 123. $[\alpha]_D^{20}$ −23,7 (*c* = = 3,7 в EtOH). Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. водн. MeOH, EtOH. Субстрат для определения активности химотрипсина, полн. уст. к трипсину. Гидрол. контролируют по увел. поглощения при 256 нм (Can. J. Biochem. Physiol. **37**, 1393 (1959)] или по освобождению карбоксильных гр. [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955); **4**, 171 (1957)].
Гиппурил-L-аргинин (бензоилглицил-L-аргинин)	 *M* 335,4	$t_{пл}$ 182 ÷ 186. $[\alpha]_D^{20}$ −2,8 (*c* = 2 в MeOH). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Субстрат для определения активности карбоксипептидазы В. Гидрол. контролируют по увел. поглощения при 254 нм [JBC **235**, 2272 (1960)] или по освобождению аминного азота [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955)].
Гиппурил-L-фенилаланин (бензоилглицил-L-фенилаланин)	 *M* 326,4	$[\alpha]_D^{25}$ +39 (*c* = 5 в 95% EtOH). Субстрат для определения активности карбоксипептидазы А. Гидрол. контролируют по увел. поглощения при 254 нм [JBC **238**, 3884 (1963)] или по освобождению аминного азота [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955)].
Глицилглицилглицин (диглицилглицин; триглицин)	 *M* 189,2	Монокл. крист. из H_2O. $t_{пл}$ 244 ÷ 246 (разл.). pK_a 3,23; 8,09. Раств-сть: 6,2^{25} H_2O, х. р. гор. H_2O; н. р. EtOH, эф. Субстрат для определения активности аминотрипептидазы [Meth. Enzymol. **2**, 83 (1955); Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955)].
Глицилглицин (диглицин)	$H_2NCH_2CONHCH_2COOH$ *M* 132,1	Бесцв. пластинки. $t_{пл}$ 215 ÷ 220 (разл.) (>250 разл.). pK_a 3,14; 8,25. Раств-сть: 13,4^{25} H_2O; х. р. гор. H_2O; о. п. р. EtOH; н. р. эф. Субстрат для определения активности глицилглицинди пептидазы [Meth. Enzymol. **2**, 107 (1955); Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955)]. Использ. в качестве буфера. Гидрохлорид: иглы +1 H_2O.

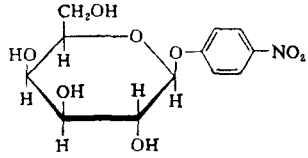
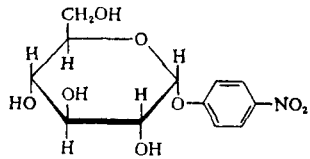
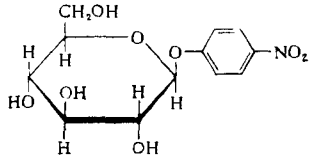
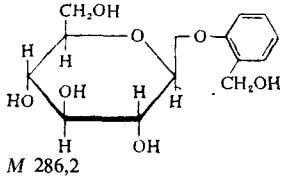
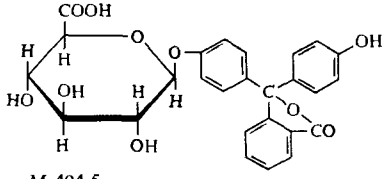
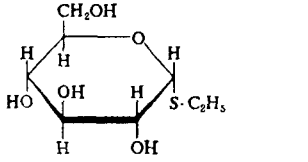
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Глицил-L-пролин	 $H_2N \cdot CH_2 \cdot CO$ *M* 172,2 Гидрат: *M* 181,2	Гигр. призмы $+{}^1/_2 H_2O$. $t_{пл}$ 185. pK_a 2,81; 8,65. $[\alpha]_D^{24}$ −115,2 ($c = 1$ в H_2O). Раств-сть: х. р. H_2O; м. р. EtOH. Раств. можно хранить лишь несколько сут. при 5°C (образуется диоксопиперазин). Субстрат для определения активности пролидазы (имидодипептидазы). [Meth. Enzymol. **2**, 100 (1955); Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955)].
Глицил-L-тирозинамидацетат	 *M* 297,3 Свободное основание: *M* 237,3	Крист. $[\alpha]_D^{22}$ +28,0 ($c = 10$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения активности катепсина С, гидрол. также химотрипсином. Гидрол. контролируют по освобождению NH_3 или карбоксильных гр. [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955)], или по р-ции последних с гидроксиламином [Meth. Enzymol. **2**, 64 (1957)]. При pH > 7,8 даже при 4°C наблюдается медл. протекающий спонтанный гидрол., незаметный после 2–3-часового стояния, но существенный спустя несколько сут.
Глицил-L-фенилаланинамид-ацетат	 *M* 281,3 Свободное основание: *M* 221,3	Крист. $[\alpha]_D^{26}$ +28,8 ($c = 5$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения активности катепсина С, гидрол. химотрипсином. Гидрол. контролируют по освобождению NH_3 или карбоксильных гр. [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955)], или по р-ции последних с гидроксиламином [Meth. Enzymol. **2**, 64 (1957)].
L-Лейцилглицин	 *M* 188,2	Иглы из EtOH–H_2O. $t_{пл}$ 245 (разл.). pK_a 3,25; 8,28. $[\alpha]_D^{21}$ +89,8 ($c = 2{,}4$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения активности пептидаз, особ. лейцинаминопептидазы [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955); Meth. Enzymol. **2**, 88 (1955)].
L-Лейцинамидгидрохлорид	$(CH_3)_2CHCH_2CH(NH_2)CONH_2 \cdot HCl$ *M* 166,7 Свободное основание: *M* 130,2	Длинные иглы из MeOH–эф. $t_{пл}$ 246 ÷ ÷ 248 (разл.). $[\alpha]_D^{25}$ +10,0 ($c = 1$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Субстрат для определения активности лейцинаминопептидазы. Гидрол. контролируют по освобождению NH_3 или карбоксильных гр. [Biochem. Preps. **6**, 35 (1958); Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955)]. Раств. можно хранить несколько нед. при pH 8,5 и 5°C в присутствии тимола в качестве стабилизатора.

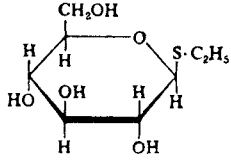
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
L-Пролилглицин	 *M* 172,2 Гидрат: *M* 190,2	Палочки или иглы $+1\,H_2O$; м. гигр. $t_{пл}$ 236 (разл.). pK_a (при $I = 0{,}16$) 3,19; 8,97. $[\alpha]_D^{20}$ $-22{,}5$ ($c = 0{,}1 \div 2$, безводн. в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения активности иминодипептидазы (пролиназы) [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955); Meth. Enzymol. **2**, 97 (1955)]. Раств. можно хранить только несколько сут. при 5°C (образуется диоксопиперазин).
L-Тирозинэтилатгидрохлорид	 *M* 245,7 Свободное основание: *M* 209,2	$t_{пл}$ 166 ÷ 168. $[\alpha]_D^{20}$ $-6{,}8$ ($c = 2$ в H_2O). Раств-сть: о. п. р. H_2O; р. водн. MeOH. Субстрат для определения активности химотрипсина, не гидрол. трипсином. Гидрол. контролируют по увел. поглощения при 233,5 нм (pH 6,5) [BBA **16**, 570 (1955)] или по освобождению карбоксильных гр. [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955); **4**, 171 (1957)]. Медл. гидрол. в раств.: за 24 ч при 4°C и pH 7 степень гидрол. 4%. Свободный эфир: призмы; $t_{пл}$ 108 ÷ 109, $[\alpha]_D^{20}$ $+20{,}4$ ($c = 4{,}85$ в EtOH).
α-N-Толуол-*n*-сульфонил-L-аргининметилатгидрохлорид (*n*-тозил-L-аргининметилатгидрохлорид)	 *M* 378,9 Свободное основание: *M* 342,4	$t_{пл}$ 147,5 ÷ 148. $[\alpha]_D^{18}$ $-14{,}4$ ($c = 4$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения активности трипсина, не атакуется химотрипсином. Гидрол. также папаином, плазмином и тромбином. Гидрол. контролируют по освобожденню карбоксильных гр. [Meth. Biochem. Anal. **2**, 215 (1955); **4**, 171 (1957)]. Медл. гидрол. при pH > 9.
Синий порошок из кожи (hide powder blue)		Раств-сть: н. р. H_2O. Нерастворимый субстрат, получаемый на основе порошка кожи, ковалентно меченного ремазолбриллиантовым синим. Краситель определяют по поглощению при 595 нм после обработки субстрата протеазами. Присутствие альбумина не оказывает влияния. Ср. с азаколлом (прокрашенный денатурированный препарат коллагена; выделение красителя определяют при 580 нм); см. [Clin. Chim. Acta **21**, 197 (1968).

B. Субстраты и индукторы гликозидаз

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Арбутин (гидрохинон-β-D-глюкозид; урсин)	 *M* 272,2 Гидрат: *M* 290,2	Длинные иглы $+1\,H_2O$. $t_{пл}$ 200. $[\alpha]_D^{20}$ -64 ($c = 3$ в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, EtOH, эф. Невосстанавлнвающий сахар. Синее окрашивание с $FeCl_3$. Субстрат β-глюкозидазы.
Изопропилтио-β-D-галактозид (изопропил-1-тио-β-D-галактопиранозид; IPTG)	 *M* 238,3	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 109,5 ÷ 110,5. $[\alpha]_D^{22}$ $-31{,}4$ (в H_2O). Раств-сть: х. р. H_2O, MeOH, EtOH; м. р. ац., $CHCl_3$; н. р. эф. Индуктор β-галактозидазы и β-галактозидпермеазы; не гидрол. β-галактозидазой [BBA **31**, 525 (1959)]. Субстрат тиогалактозидтрансацетилазы [JBC **237**, 253 (1962)].
Метилтио-β-D-галактозид (метил-1-тио-β-D-галактопиранозид; тиометилгалактозид; TMG)	 *M* 210,3	Бесцв. иглы. $t_{пл}$ 174 ÷ 175. $[\alpha]_D^{20}$ $+10{,}7$ (в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH; н. р. эф., $CHCl_3$. Индуктор β-галактозидазы и β-галактозидпермеазы; не гидрол. β-галактозидазой [BBA **31**, 525 (1959)].
4-Метилумбеллиферилгликозиды		Использ. при флуориметрическом определении активности гликозидаз [Meth. Biochem. Anal. **17**, 256 (1969)]. Эти субстраты отн. сл. флуоресцируют, но при гидрол. дают 4-метилумбеллиферон, который в щел. раств. интенсивно флуоресцирует. При pH 10,3 *A* 364 нм, *F* 448 нм. Субстраты уст. при $-20°C$; хранить в сухом виде в защищенном от света месте.
4-Метилумбеллиферил-N-ацетил-β-D-галактозаминидин (4-метилумбеллиферил-2-ацетамидо-2-дезокси-β-D-галактопиранозид)	R – N-ацетил-β-D-галактозаминидил *M* 379,4	Субстрат для определения активности N-ацетил-β-D-галактозаминидазы.
4-Метилумбеллиферил-N-ацетил-β-D-глюкозаминидин (4-метилумбеллиферил-2-ацетамид-2-дезокси-β-D-глюкопиранозид)	R – N-ацетил-β-D-глюкозаминидил *M* 379,4	Субстрат для определения активности N-ацетил-β-D-глюкозаминидазы.
4-Метилумбеллиферил-α-D-галактозид (4-метилумбеллиферил-α-D-галактопиранозид)	R – α-D-галактозил *M* 338,3	Субстрат для определения активности α-D-галактозидазы. Недостаток фермента приводит к болезни Фабри.
4-Метилумбеллиферил-α-D-глюкозид (4-метилумбеллиферил-α-D-глюкопиранозид)	R – α-D-глюкозил *M* 338,3	Субстрат для определения активности α-D-глюкозидазы.

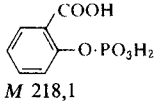
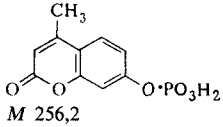
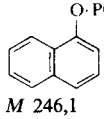
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
4-Метилумбеллиферил-β-D-глюкозид (4-метилумбеллиферил-β-D-глюкопиранозид)	R – β-D-глюкозил *M* 338,3	$t_{пл}$ 212 ÷ 214. [α] −94,5 (*c* = 1 в H_2O). Субстрат для определения активности β-D-глюкозидазы. Недостаток фермента приводит к болезни Гоше.
4-Метилумбеллиферил-β-D-глюкуронид	R – β-D-глюкуронидил *M* 352,3 Тригидрат: *M* 406,3	Субстрат для определения активности β-D-глюкуронидазы.
4-Метилумбеллиферил-α-D-маннозид (4-метилумбеллиферил-α-D-маннопиранозид)	R – α-D-маннозил *M* 338,3	Субстрат для определения активности α-D-маннозидазы.
4-Метилумбеллиферил-β-D-ксилозид (4-метилумбеллиферил-β-D-ксилопиранозид)	R – β-D-ксилозил *M* 308,3	[α] −30,2 (*c* = 0,3 в H_2O). Субстрат для β-D-ксилозидазы.
4-Метилумбеллиферил-α-L-фукозид (4-метилумбеллиферил-α-L-фукопиранозид)	R – α-L-фукозил *M* 322,3	Субстрат для определения активности α-L-фукозидазы.
o-Нитрофенил-β-D-галактозид (*o*-нитрофенил-β-D-галактопиранозид; нифегаль; ONPG)	 *M* 301,3	Иглы. $t_{пл}$ 193 ÷ 194. $[\alpha]_D^{20}$ −66 (*c* = 1 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Субстрат для определения активности β-галактозидазы (лактазы). Гидрол. контролируют по освобождению *o*-нитрофенола (в щел. раств. желтая окраска; при pH 10,2 λ_{max} 420 нм, ε 21300) [Adv. Carbohydr. Chem. **16**, 239 (1961); Meth. Enzymol. **1**, 241 (1957)].
o-Нитрофенил-β-D-глюкозид (*o*-нитрофенил-β-D-глюкопиранозид)	 *M* 301,3	Иглы + H_2O из H_2O. $t_{пл}$ гидрат 130 ÷ 131; безводн. 168 ÷ 170. $[\alpha]_D^{18,5}$ −140,4 (*c* = 2,14, безводн. в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для β-глюкозидазы, гидрол. ферментом эмульсином [BJ **57**, 1 (1954)], но не из *Stachybotrys atra* [Aust. J. Biol. Sci. **8**, 541 (1955)]. Гидрол. контролируют по освобождению *o*-нитрофенола (в щел. раств. желтая окраска; при pH 10,2 λ_{max} 420 нм, ε 21300). Теряет крист. H_2O в вакууме над P_2O_5 при 110°C.
n-Нитрофенил-N-ацетил-β-D-глюкозаминидин (*n*-нитрофенил-2-ацетамидо-2-дезокси-β-D-глюкопиранозид)	 *M* 342,3	$t_{пл}$ 210 ÷ 212. $[\alpha]_D^{20}$ −15 (*c* = 0,5 в H_2O) λ_{max} 300 нм, ε 10800 (в 0,1 M NaOH). Раств-сть: 0,78^{20} H_2O. Субстрат для определения активности N-ацетил-β-D-глюкозаминидазы. Гидрол. контролируют по освобождению *n*-нитрофеиола (в щел. раств. желтая окраска; при pH 10,2 λ_{max} 400 нм, ε 18300) [BJ **78**, 106 (1961)]. Чувствителен к дневному или УФ-свету (но не к электрическому освещению) в сильнощел. раств., но уст. при pH ⩽ 9,2.

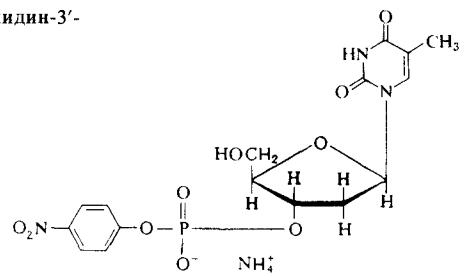
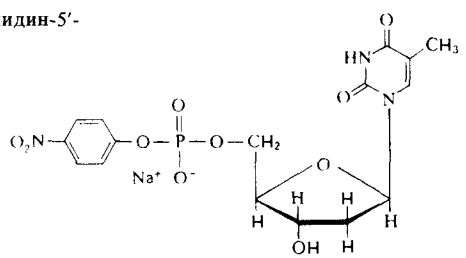
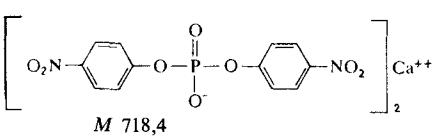
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
n-Нитрофенил-β-D-галактозид (*n*-нитрофенил-β-D-галактопиранозид)	 *M* 301,3	Крист. $t_{пл}$ 185 ÷ 190 (разл.). $[\alpha]_D^{21}$ −84 (c = 0,3 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, MeOH. Субстрат для определения активности β-галактозидазы (лактазы). Гидрол. контролируют по освобождению *n*-нитрофенола (в щел. раств. желтая окраска; при pH 10,2 λ_{max} 400 нм, ε 18300) [BJ **83**, 331 (1962)].
n-Нитрофенил-α-D-глюкозид (*n*-нитрофенил-α-D-глюкопиранозид)	 *M* 301,3	Призмы. $t_{пл}$ 216 ÷ 217. $[\alpha]_D^{17}$ +215 (c = 1 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения активности α-глюкозидаз (мальтазы и изомальтазы). Гидрол. контролируют по освобождению *n*-нитрофенола (в щел. раств. желтая окраска; при pH 10,2 λ_{max} 400 нм, ε 18300) [BBA **30**, 28 (1958)].
n-Нитрофенил-β-D-глюкозид (*n*-нитрофенил-β-D-глюкопиранозид)	 *M* 301,3	Бесцв. иглы из H_2O; сушат в вакууме при 90°C. Безводн. $t_{пл}$ 164 ÷ 165. $[\alpha]_D^{20}$ −108 (c = 1, безводн. в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения β-глюкозидазы (целлобиазы). Гидрол. контролируют по освобождению *n*-нитрофенола (в щел. раств. желтая окраска; при pH 10,2 λ_{max} 400 нм, ε 18300) [BZ **337**, 146 (1963); JBC **233**, 1113 (1958)].
Салицин (салигенин-β-D-глюкопиранозид)	 *M* 286,2	Иглы или призмы. $t_{пл}$ 201. $[\alpha]_D^{20}$ −62 (c = 5 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, NaOH-раств., лед. укс. кисл., пиридин; о. п. р. EtOH; н. р. $CHCl_3$, эф. Субстрат для β-глюкозидазы. Невосстанавливающий сахар. Пурпурная окраска в конц. H_2SO_4.
Фенолфталеин-β-D-глюкуронид (фенолфталеин-β-D-глюкопиранозидуроновая кислота)	 *M* 494,5	Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для определения активности β-глюкуронидазы. Гидрол. контролируют по образованию фенолфталеина (в щел. раств. красная окраска; макс. интенсивность окраски при pH 10,3–11,2 λ_{max} ~550 нм, ε 26600) [Adv. Carbohydr. chem. **14**, 381 (1959); Meth. Enzymol. **1**, 262 (1957); Meth Biochem. Anal. **15**, 77 (1967)]. Раств. уст. при 0°C несколько мес. λ_{max} 420 нм, ε 130 (pH 10).
Этилтио-α-D-глюкозид (этил-1-тио-α-D-глюкопиранозид; тиоэтил-α-D-глюкозид; α-TEG)	 *M* 224,3	Иглы. $t_{пл}$ 117. $[\alpha]_D^{20}$ +261,5 (c = 2 в H_2O). Раств-сть: р. H_2O. Индуктор α-глюкозидазы; не гидрол. этим ферментом.

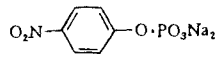
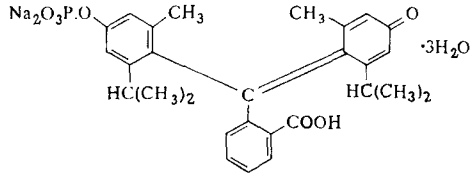
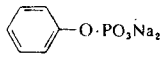
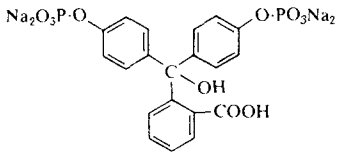
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Этилтио-β-D-глюкозид (этил-1-тио-β-D-глюкопиранозид; тиоэтил-β-D-глюкозид; β-TEG)	 *M* 224,3 Гидрат: *M* 242,3	Крист. $+1\,H_2O$. $t_{пл}$ 42 ÷ 44. Безводн.: $t_{пл}$ 99,5. $[\alpha]_D$ −55 ($c = 4$, безводн. в H_2O). Раств-сть: р. H_2O, EtOH; м.р. ац.; о.п.р. эф. Индуктор β-глюкозидазы (целлобиазы), не гидрол. этим ферментом [BBA **36**, 47 (1959)]. Теряет крист. H_2O в вакууме при 65°C.

Г. Субстраты фосфатаз

Природные эфиры фосфорной кислоты *см.* Эфиры фосфорной кислоты (разд. 3).

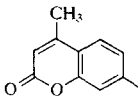
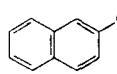
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
о-Карбоксифенилфосфат (салицилилфосфат)	 *M* 218,1	Негигр. иглы. $t_{пл}$ 154 ÷ 155. pK_a 0,95; 3,5; 6,11. Раств-сть: х.р. H_2O, EtOH, диоксан; н.р. петр. эф., толуол. Субстрат фосфомоноэстеразы [ABB **51**, 139 (1954)]. Гидрол. контролируют по увел. поглощения при 310 нм (освобождается салициловая кисл.). λ_{max} салициловой кисл. 295 ÷ 300 нм; работа при 310 нм позволяет устранить небольшое поглощение, вызванное наличием фосфата и белка. Салициловая кисл. поглощает во всем диапазоне pH: при pH > 5 ε_{310} 1900, при более низких pH ε_{310} увел. вплоть до 3200 при pH 1. Неферментативный гидрол. протекает с макс. скоростью при pH 5,2, медл. при комн. т., заканчивается за 1 ч при 80–90°C. Уст. в раств. при pH > 8, практически уст. при pH < 2.
4-Метилумбеллиферилфосфат	 *M* 256,2 Na_2-соль: *M* 300,1	Субстрат для щелочной фосфатазы. При pH 10,3 образующийся 4-метилумбеллиферон интенсивно флуоресцирует: *A* 364 нм, F 448 нм. При pH 5 флуоресценция менее интенсивная, но все еще легко измеримая (*A* смещается к 330 нм) [Meth. Biochem. Anal. **17**, 254 (1969)]. Бис(4-метилумбеллиферил)фосфат использ. при определении фосфодиэстеразы в мембранах [BBA **465**, 667 (1977)].
α-Нафтилфосфат, кислая Na-соль	 *M* 246,1 $+1H_2O$: *M* 264,2 Свободная кислота: *M* 224,2	Бел. крист. Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для фосфомоноэстераз, особ. из предстательной железы [Am. J. Clin. Path. **32**, 88 (1959)]. При гидрол. освобождается α-нафтол, который кол-венно определяется колориметрически после соединения с солью диазония, напр. тетразотированным *о*-дианизидином,

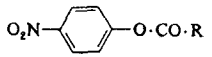
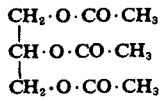
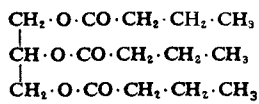
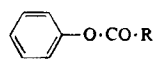
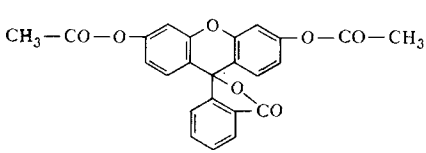
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		или флуориметрически [**BJ 76**, 32P (1060)]. Может быть использ. для определения фосфатаз на электрофореграммах. Уст. в раств. при pH > 8, но при pH < 6 происходит медл. гидрол. Свободная кислота: бел. крист.; $t_{пл}$ 155 ÷ 156; pK_a 0,97; 5,85.
n-Нитрофенилтимидин-3′-фосфат, NH_4-соль	 Свободная кислота: *M* 443,3 NH_4-соль: *M* 460,3	Безводн.: крист. λ_{max} 270,5 нм, ε 15400. Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для фосфодиэстеразы селезенки и ферментов с такой же специфичностью [Meth. Enzymol. **6**, 245 (1963)]. Не гидрол. ферментом из змеиного яда. Гидрол. освобождает *n*-нитрофенол (в щел. раств. желтая окраска; при pH 9–10 λ_{max} 400 нм, ε 18300).
n-Нитрофенилтимидин-5′-фосфат, Na-соль	 *M* 465,3 Гидрат: *M* 519,3 Свободная кислота: *M* 443,3	Крист. $+3H_2O$. Теряет H_2O при 100°C и пониженном давл. λ_{max} 270 нм, ε 16250 (pH 2). Раств-сть: р. H_2O, MeOH; н. р. эф. Субстрат для фосфодиэстеразы змеиного яда и ферментов с аналогичной специфичностью [Meth. Enzymol. **6**, 237 (1963)]. Скорость гидрол. во много раз выше, чем у бис(*n*-нитрофенил)фосфата. Не гидрол. ферментом из селезенки. При гидрол. освобождается *n*-нитрофенол (в щел. раств. желтая окраска; при pH 9–10 λ_{max} 400 нм, ε 18300).
Бис(*n*-нитрофенил)фосфат, Ca-соль	 *M* 718,4 Na-соль: *M* 362,2 Свободная кислота: *M* 340,2	Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для фосфодиэстераз [JBC **198**, 293 (1952)]. При гидрол. освобождается *n*-нитрофенол (в щел. раств. желтая окраска; при pH 9–10 λ_{max} 400 нм, ε 18300). В раиее описанных методиках измерения проводнлись при 440 нм, но лучше работать при 400 нм. Хранить на хол. в сухом темном месте. Слабокисл. раств. можно хранить на хол. несколько нед.; щел. раств. быстро разл. Щел. раств. практически не поглощают при 400 нм. Na-соль: бел. крист. порошок; $t_{пл}$ 174 ÷ 176.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
n-Нитрофенилфосфат, Na_2-соль	 *M* 263,1 $+6H_2O$: *M* 371,2 Свободная кислота: *M* 219,1	Светло-желт. крист. Степень гидратации варьирует. λ_{max} 290 нм (pH 2,3); 310 нм (pH 9,2); ε 9500 (при любых pH). Свободная кислота: pK_{a2} 5,70. Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для фосфомоноэстераз [**BBA 258**, 178 (1972); Meth. Enzymol. **4**, 371 (1957)]; скорость гидрол. выше, чем у глицеролфосфата, фенилфосфата или фенолфталеинфосфата. При гидрол. освобождается *n*-нитрофенол (в щел. раств. желтая окраска; при pH 9–10 λ_{max} 400 нм, ε 18300). *n*-Нитрофенилфосфат немного поглощает при 400 нм, так что иногда измерения проводят при 405–420 нм. Хранить в тв. состоянии на хол. в темноте. Раств. разл. медл.; хранить на хол. и в темноте; свежие раств. готовить через несколько нед. Полн. гидрол. 1 М HCl за 3 ч при 100°С.
Тимолфталеинфосфат, Na_2-соль	 *M* 554,5 Тригидрат: *M* 608,5	Субстрат для щелочной фосфатазы. При гидрол. освобождается тимолфталеин (при pH 10 λ_{max} ~600 нм) [Clin. Chem. **17**, 1093 (1971)].
Фенилфосфат, Na_2-соль	 *M* 218,1 Дигидрат: *M* 254,1 Свободная кислота: *M* 174,1	Бел. крист. Свободная кислота: $t_{пл}$ 94. pK_{a2} 5,73. Раств-сть: р. H_2O, MeOH, эф. Субстрат для фосфомоноэстераз [Meth. Biochem. Anal. **4**, 257 (1957); *Bergmeyer*, Methods of Enzymatic Analysis, p. 785, Academic Press, 1963; J. Assoc. Off. Anal. Chem. **64**, 196 (1981)]. При гидрол. освобождается фенол, который кол-венно можно определять колориметрически или по увел. поглощения при 287 нм в щел. раств. [**BBA 52**, 36 (1961)]. Хранить на хол. в сухом темном месте. Раств. медл. разл.; надо хранить на хол.; свежие раств. готовить каждые 1–2 нед.
Фенолфталеинфосфат, Na_4-соль (фенолфталеиндифосфат)	 *M* 566,2 Свободная кислота: *M* 478,2	Аморфное в-во. Раств-сть: р. H_2O. Субстрат для фосфомоноэстераз [Enzymolog. **31**, 309 (1966); Clin. Chem. **13**, 941 (1967); J. Assoc. Off. Anal. Chem. **64**, 196 (1981)]. При гидрол. освобождается фенолфталеин (в щел. раств. красная окраска; λ_{max} ~550 нм, max окраска при pH 10,3 ÷ 11,4). Уст. при хранении на хол. в сухом темном месте. В щел. раств. при 550 нм не наблюдается поглощения.

Д. Субстраты эстераз и липаз

Любой эфир потенциально может быть субстратом эстераз. За гидролизом можно следить, титруя освобождающуюся кислоту с контролем, напр., с помощью pH-метра [Meth. Biochem. Anal. **4**, 171 (1957)] или измеряя количество негидролизованного эфира гидроксамовым методом [JBC **180**, 249 (1949)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Ацилсалициловые кислоты (2-ацилоксибензойные кислоты)	 M 120,1 + $M_{кисл}$ или 165,1 + R Ацетил: M 180,2	Ацетил: иглы. $t_{пл}$ 135. Высшие гомологи: крист. тв. в-ва. Раств-сть: м. р. H_2O, раств-сть снижается с возрастанием длины углеводородной цепи кисл.; р. щел., орг. раств-ли. Субстраты для определения активности эстераз. При гидрол. освобождается салициловая кисл. (λ_{max} 290 ÷ 300 нм; у соответствующих эфиров в спектре поглощения max при этой длине волны отсутствует) [JBC **199**, 357 (1952)]. Раств. хранить на хол., свежие готовить ежедневно.
4-Метилумбеллифериловые эфиры		Раств-сть: р. H_2O. Флуоресцирующие субстраты для определения активности эстераз и липаз [Anal. Biochem. **21**, 279 (1967)].
ацетат	R = —$COCH_3$: M 218,2	Субстрат эстераз.
бутират	R = —$CO(CH_2)_2CH_3$: M 246,3	$t_{пл}$ 91. Субстрат эстераз.
эландат(*транс*)	R = —$CO(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7CH_3$ M 440,5	Субстрат липаз.
гептаноат	R = —$CO(CH_2)_5CH_3$: M 288,4	$t_{пл}$ 41 ÷ 42. Субстрат эстераз.
нонаноат	R = —$CO(CH_2)_7CH_3$: M 316,4	$t_{пл}$ 47 ÷ 49. Субстрат эстераз и липаз.
олеат(*цис*)	R = —$CO(CH_2)_7CH = CH(CH_2)_7CH_3$: M 440,5	$t_{пл}$ 38 ÷ 40. Субстрат липаз.
пальмитат	R = —$CO(CH_2)_{14}C)_3$: M 414,6	$t_{пл}$ 70 ÷ 72. Субстрат липаз.
пропионат	R = —$COCH_2CH_3$: M 232,2	Субстрат эстераз.
β-Нафтиловые эфиры (2-нафтиловые эфиры)	 M 126,2 + $M_{кисл}$ или 171,2 + R Ацетат: M 186,2 Лаурат: M 326,5	Бел. тв. в-ва. $t_{пл}$ ацетат 70; лаурат 58 ÷ 60; стеарат 73 ÷ 75. Раств-сть: м. р. H_2O; раств-сть снижается с возрастанием длины углеводородной цепи кисл.; р. EtOH, ац., эф., $CHCl_3$. β-Нафтилацетат использ. как субстрат для определения активности эстераз [J. Clin. Invest. **29**, 31 (1950)]; β-нафтиллаурат – для определения активности липазы [JBC **181**, 343 (1949); *Bergmeyer*, Methods of Enzymatic Analysis p. 776, Academic Press, 1963]. При гидрол. освобождается β-нафтол, который можно определять кол-венно колориметрически по р-ции с диазотированным амином. Исходные раств. в ац. хранят при 4°C ⩽ 14 сут. Разбавлять H_2O или буфером непосредственно перед использ., при этом в зависимости от длины цепи кислотного остатка образуется раств. или эмульсия.

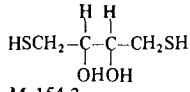
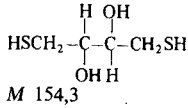
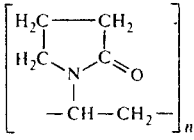
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
n-Нитрофениловые эфиры	 *M* 121,1 + $M_{кисл}$ или 161,1 + R Ацетат: *M* 181,2	Ацетат: пирамидальные крист. $t_{пл}$ 81. Пропионат: бел. игл. $t_{пл}$ 62 ÷ 63. *н*-Бутират: жидк. Раств-сть: ацетат $0{,}06^{25}$ H_2O, $0{,}03^{25}$ в 0,025 М $NaHCO_3-CO_2$-буфере (pH 7,5); р. орг. раств-ли. Субстраты для определения активности эстераз. Гидрол. контролируют по освобождению кисл. или *n*-нитрофенола (в щел. раст. желтая окраска, λ_{max} 400 нм, ε 18300) [JBC **170**, 467 (1947)]. Гидрол. также химотрипсином и трипсином, особ. ацетат [BJ **50**, 672 (1952); **56**, 288 (1954)]. Следует вносить поправку, учитывающую медл. спонтанный гидрол. при нейтр. pH. Хранить в тв. виде в темноте. Чтобы получить раств. или эмульсию, в-ва раств. в MeOH и разбавляют H_2O или буфером.
Триацетин (глицерилтриацетат; ацетин)	 *M* 218,2	Крист. $t_{пл}$ 3,2. Бесцв. жидк. d_4^{25} 1,156. $t_{кип}$ 258 ÷ 260. Раств-сть: 0,685 H_2O; р. EtOH, эф., бенз., $CHCl_3$. Субстрат для определения активности эстераз. Гидрол. контролируют по освобождению кисл.
Трибутирии (глицерилтрибутират; бутирин)	 *M* 302,4	Бесцв. жидк.; горький вкус. d^{20} 1,032. $t_{кип}$ 305 ÷ 310. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф., ац. Субстрат для определения активности эстераз и липаз [J. Lab. Clin. Med. **33**, 1047 (1948)]. Гидрол. контролируют по освобождению кисл.
Фениловые эфиры	 *M* 76,1 + $M_{кисл}$ или 121,1 + R Ацетат: *M* 136,2	Ацетат: жидк. d_{15}^{15} 1,081. $t_{кип}$ 195,7. Пропионат: призмы. $t_{пл}$ 20. $t_{кип}$ 211. Высшие гомологи: жидк. или низкоплавкие крист. тв. в-ва. Раств-сть: ацетат м. р. H_2O; высшие гомологи н. р. H_2O; р. EtOH, эф., ац., $CHCl_3$. Субстраты для определения активности эстераз. При гидрол. освобождается фенол, который можно кол-венно определить колориметрически [BJ **57**, 692 (1954)]. Продажные препараты часто содержат немного свободного фенола; оч. см. [BJ **57**, 692 (1954)].
Флуоресцеиндиацетат	 *M* 416,4	Иглы из EtOH. $t_{пл}$ 200. Флуоресцентный субстрат для определения активности эстераз [Meth. Biochem. Anal. **17**, 251 (1969)]. Использ. как индикатор жизнеспособности клеток [PNAS **55**, 134 (1966); Stain Tech. **47**, 189 (1972)]

16. Биохимические реагенты

А. Протекторные реагенты

Включены соединения, используемые в первую очередь для защиты ферментов от инактивации в результате окисления —SH-гр. следовыми кол-вами тяжелых металлов или токсичными эндогенными компонентами тканей (напр., фенолами, хинонами, жирными кисл.). Реагенты, используемые для защиты от действия эндогенных ферментов (РНКаз и протеаз), рассмотрены в разд. 13, Ж «Другие ингибиторы ферментов».

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Бычий сывороточный альбумин (БСА; BSA)	*M* 67000	p*I* 4,7. Раств-сть: р. H_2O. Использ. в виде 0,1–1,0%-ного раств. при выделении митохондрий и хлоропластов для адсорбции фенола и хиноиа или для связывания свободных жирных кисл. и ингибирования дальнейшей липолитической активности [Meth. Enzymol. **31**, 306, 524, 531, 536, 603 (1974)]. Для сохранения палочковидных митохондрий из картофеля необходимы добавки до 6,5% [Tissue Cell **1**, 575 (1969)].
2,3-Димеркаптопропанол-1 (британский антилюизит; BAL; димеркапрол; 1,2-дитиоглицерин)	CH_2SH | $CHSH$ | CH_2OH *M* 124,2	Вязкая бесцв. или желтоватая жидк. Едкий запах. d^{20} 1,2463. $t_{кип}$ $86 \div 90^1$. Раств-сть: $6{,}8^{20}$ H_2O (медл. разл.); р. EtOH, эф., растительные масла. Защищает (обычно при $\sim 10^{-3}$ М) многие ферменты от инактивации, так как избыток димеркаптопропанола поддерживает —SH-гр. белков в восстановленном состоянии; кроме того, сильный хелатирующий агент для тяжелых металлов. Взаимодействует с соединениями As(III). Обращает ингибирование, вызываемое соединениями As(III), особ. пируват- и α-кетоглутаратоксидаз, и во многих случаях вызывает обращение ингибирования тяжелыми металлами. Напротив, инактивирует многие ферменты и др. белки, содержащие дисульфидные связи или простетические гр. с тяжелыми металлами, напр. каталазу, пероксидазу, карбоангидразу. В мед. практике иногда использ. как менее токсичный глюкозид, как антидот при отравлении соединениями As и тяжелыми металлами. Чистая жидк. уст. при хранении без доступа O_2 в герметично закрытых контейнерах, медл. окисл. на возд. Водн. раств. на возд. окисл. до дисульфида, с пренебрежимо малой скоростью при pH 5, но быстро в щел. раств.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
1,4-Дитиотреитол (ДТТ; реагент Клеланда; *трео*-2,3-дигидрокси-1,4-димеркаптобутан)	 *M* 154,3	ДТТ: крист. $t_{пл}$ 43. М. гигр. p*K* 8,3; 9,5. ДТЭ: $t_{пл}$ 82 ÷ 84. pK_a 9,0; 9,9. Раств-сть: ДТТ р. H_2O; MeOH, EtOH, ац., $CHCl_3$. Наиболее подходящий реагент для восстановления —S—S— до —SH; низкий окислительно-восстановительный потенциал (−0,33 В, pH 7) обеспечивает восстановление многих тиолов; р-ция приводит к образованию внутримолекулярного дисульфида, что обеспечивает протекание р-ции восстановления до конца. Восстановление дисульфида при pH 8 заканчивается за несколько мин. Специфический и чувствительный метод кол-венного определения дисульфидных гр. основан на определении образующихся монотиолов в реакции с ДТНБ в присутствии арсенита [JBC **243**, 716 (1968)]. Раств. ДТТ ср. медл. окисл. на возд. Эритроизомер (ДТЭ) обладает аналогичными св-вами, но ДТТ гораздо легче получить и он чаще использ. [Biochem. **3**, 480 (1964)]. При определении дисульфида лучше использ. ДТЭ, поскольку скорость р-ции его арсенитного комплекса с ДТНБ выше.
1,4-Дитиоэритритол (ДТЭ; DTE; *эритро*-2,3-дигидрокси-1,4-димеркаптобутан)	 *M* 154,3	
Меркап *см.* разд. 13, Е «Другие ингибиторы ферментов»		
2-Меркаптоэтанол (монотиоэтиленгликоль)	$HSCH_2CH_2OH$ *M* 78,1	Жидк., характерный запах. $t_{кип}$ 157^{748} (разл.), 68^{20}; $53{,}5^{10}$. d^{25} 1,1196. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф., бенз. Защищает многие ферменты от инактивации (обычно при ~ 0,01 М), так как избыток меркаптоэтанола поддерживает —SH-гр. белков в восстановленном состоянии. Также образует меркаптиды с тяжелыми металлами. В некоторых случаях наблюдается ингибирование, а не активация. Использ. (при 0,01–1,0 М) для поддержания легко окисляющихся в-в, особ. тиолов, таких, как CoASH, и тетрагидрофолиевой кисл. в восстановленном состоянии. Чистая жидк. медл. разл. на возд. (8% за 6 мес.). Водн. раств. легко окисл. на возд. до дисульфида, особ. при щел. pH. Разл. минер. кисл., особ. HCl.
Поливинилпирролидон растворимый (PVP; полимеры 1-этенилпирролидинона-2; пласдон; повидон)	 *M* 10000 ÷ 360000	Раств-сть: р. H_2O (коллоидный раств.), EtOH, $CHCl_3$; н. р. эф. Использ. при выделении растительных митохондрий и рибосом (препарат полимера должен соответствовать фармац. степени чистоты) и в качестве адсорбента фенола или хинона [Meth. Enzymol. **31**, 534 (1974)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Поливинилпирролидон нерастворимый (поликлар АТ)	Поперечно-сшитый ПВП	Раств-сть: н. р. H_2O. Использ. при выделении растворимых ферментов из растительного материала [Meth. Enzymol. **31**, 534 (1974)]. Может быть очищен путем кипячения в течение 10 мин в 10%-ной HCl с последующим промыванием перегнанной в стеклянной посуде H_2O до удаления Cl^-. Для окончательного удаления Cl^- гораздо лучше использ. нейтрализацию путем добавления KOH и последующее длительное промывание.
Полиэтиленгликоль (ПЭГ; PEG; α-гидро-ω-гидроксиполи(окси-1,2-этандиол); карбовакс)	Жидк. или тв. полимерные продукты общей формулы: $H(OCH_2CH_2)_nOH$, где $n \geqslant 4$. Напр., ПЭГ 400, $n = 8{,}2 \div 9{,}1$; M 340 ÷ ÷ 420; ПЭГ 4000, $n = 68 \div 84$; M 3500 ÷ 4500	ПЭГ 400: вязкая сл. гигр. жидк. $t_{пл}$ 1 ÷ 5. ПЭГ 4000: бел. порошок. $t_{пл}$ 59 ÷ 61. Раств-сть: р. H_2O, ароматические углеводороды; м. р. алифатнческие углеводороды. Добавление этих макромолекул чрезвычайно эффективно для сохранения митохондрий в палочковидном состоянии при их выделении (для карбовакса 20000 при конц. 8%) [Meth. Enzymol. **31**, 599 (1974)]. ПЭГ 4000 или 20000 (1%) использ. при получении ферментов, когда полифенолы непригодны. Более сл. адсорбент фенола, чем PVP или БСА, но обладает важным св-вом растворяться в ац. [Meth. Enzymol. **13**, 577, 562 (1969)]. ПЭГ 300–ПЭГ 6000 (при 50–55%) индуцируют клеточную гибридизацию [Meth. Cell Biol. **15**, 325 (1977)]. Использ. как плазмолитик [Planta **71**, 81 (1966); New Phytol. **69**, 501 (1970)]. Могут оказаться необходимыми диализ [Science **133**, 1486 (1981)] или пропускание через ионообменные смолы [Plant Physiol. **61**, 708 (1978)]. Возможные осложиения см. [Ann. Rev. Plant. Physiol. **24**, 538, 541 (1973)]. Раств. некоторые пластмассы. Низкая токсичность; для крыс (перорально) $ЛД_{50}$ ~40 ÷ 60 г/кг. ПЭГ не гидрол. и не разл. при хранении; не способствуют росту плесени. Использ. ПЭГ в качестве фьюзогена для получения гибридом при производстве моноклональных антител см. [Meth. Enzymol. **92**, 10 (1983)].
Тиогликолевая кислота (меркаптоуксусная кислота)	$HSCH_2COOH$ M 92,1	Жидк. Сильный неприятный запах. d^{20} 1,325. $t_{пл}$ −16,5. $t_{кип}$ 108^{15}. pK_a 3,68; 10,7. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф., $CHCl_3$, бенз., многие орг. раств-ли. Предохраняет многие ферменты от инактивации (обычно при $10^{-3} \div 10^{-2}$ М); избыток тиогликолята поддерживает —SH-гр. белка в восстановлением состоянии, образует меркаптиды с тяжелыми металлами. Часто использ. в бактериальных средах для поддержания

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		восстановительных усл. Легко окисл. возд., особ. при щел. pH.
Na-соль	$HSCH_2COONa$ *M* 114,1	Гигр. крист. Раств-сть: х. р. H_2O; м. р. EtOH.
Цистеин, цистеамин, глутатион *см.* разд. 1.		Часто использ. для предохранения ферментов от инактивации, вызываемой окислением —SH-гр.

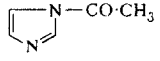
Б. Реагенты для модификации белков

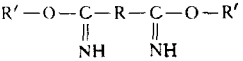
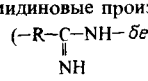
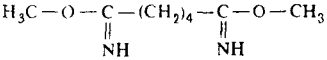
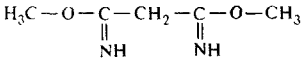
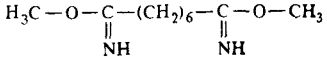
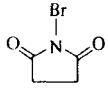
Выбор веществ для рассмотрения в данном разделе и разд. 13 «Антиметаболиты, антибактериальные агенты и ингибиторы ферментов» не основан на каких-то строгих критериях. В частности, вещества, используемые для модификации тиольных (—SH) групп, включены в разд. 13, Е «Другие ингибиторы ферментов». Поэтому для облегчения нахождения конкретного вещества можно рекомендовать использовать предметный указатель.

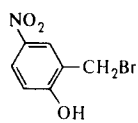
Литература

Means G. E., Feeney R. E., Chemical modification of proteins, Holden-Day (1971); Meth. Enzymol. **4**, 247 (1957); **11**, 481–711 (1967); **25**, 387–671 (1972); **47**, 407–498 (1977). *Glazer A. N.*, in: The proteins, H. Neurath, R. L. Hill (eds.), vol. II, pp. 1–103, 3rd edn., Academic Press, 1976. *Glaser A. N., DeLange R. J., Sigman D. S.*, Chemical modification of proteins, in: Laboratory techniques in biochemistry and molecular biology, T. S. Work, E. Work, (eds.), vol. 4, part I, North Holland-Elsevier, 1975.
По бифункциональным поперечно-сшивающим реагентам: Meth. Ensymol. **25**, 623 (1972); Ann. Rev. Biochem. **46**, 523 (1977); BBA **559**, 39 (1979).

Замечание. Далее под «кислотным гидролизом» следует понимать процедуру, приводящую к образованию свободных аминокислот, т. е. обработку 6 М HCl при 110°C в вакууме в течение 24 ч.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Азотистая кислота	HNO_2 *M* 47,2	Известна только в виде раств. Светло-голубой раств. Получают в раств. из $NaNO_2$ и кисл., напр. укс. кисл. с pH 4,35. Кол-венно переводит $—NH_2$-гр. в —OH с выделением N_2. α-NH_2-гр. реагирует быстрее, чем ε-NH_2. Реагирует также с индольным кольцом триптофана, тирозиновым кольцом, —SH-гр. и, возможно, метиониновыми боковыми цепями.
N-Ацетилимидазол (1-ацетилимидазол)	 *M* 110,1	Гигр. тв. в-во. $t_{пл}$ 101,5 ÷ 102,5. Раств-сть: р. H_2O, бенз. Ацетилирует тирозиновую OH-гр. при pH ⩽ 7,5; реагент и O-ацетилтирозин неуст. при более щел. pH. Может также медл. реагировать с $—NH_2$, но при pH 7,5 более селективен к тирозиновому —OH, чем укс. ангидрид. Ацетильные гр. удаляются из тирозиновых остатков с освобожде-

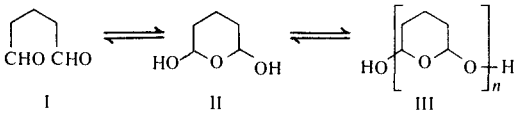
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		нием —OH (но не $-NH_2$) под действием 1 М NH_2OH при pH 7 ÷ 9 [Meth. Enzymol. **25**, 500 (1972)]. Ацетилирование тирозина можно контролировать по уменьш. поглощения при 278 нм, $\Delta\varepsilon_{278}$ 1160. Реагент уст. в тв. виде, если хорошо высушен, а также уст. в раств. в сухом бенз. в течение 1 мес. Гидрол. в водн. раств., наиболее уст. при pH 7,5.
Бисимидаты (бисимидоэфиры)		Бифункциональные поперечно-сшивающие агенты; см. литературу в начале этого раздела. Высоко специфичен к $-NH_2$-гр., реагирует при pH 7 ÷ 10, давая амидиновые производные  Амидновая гр. сохраняет положительный заряд аминогр. с pK_a более высокой, чем у $-NH_3^+$-гр. Амидиновые производные уст. в слабокисл. и нейтр. раств., но разл. в щел. раств. Бисимидаты неуст. в водн. раств. (в зависимости от pH период полупревращения составляет от нескольких мин. до 40 мин).
Диметиладипимидат (ДМА; DMA)	 *M* 172,2 Ди-HCl: *M* 245,2	Ди-HCl: гигр. тв. в-во. $t_{пл}$ 223. Раств-сть: ди-HCl р. H_2O. Наибольшее расстояние между сшиваемыми функциональными гр. ~0,9 нм.
Диметил-3,3′-дитиобиспропионимидат (ДТБП; DTBP)	 *M* 236,4 Ди-HCl: *M* 309,3	Раств-сть: ди-HCl р. H_2O. Связь —S—S— может быть расщеплена 10 мМ меркаптоэтанолом; использ. при определении поперечно-сшитых компонентов при двумерном электрофорезе в ДСН-геле. Родственные реагенты имеют соединительную группировку, содержащую гликоль, который может расщепляться периодатом (см. литературу в начале раздела).
Диметилмалонимидат	 *M* 130,2 Ди-HCl: *M* 203,1	Раств-сть: ди-HCl р. H_2O. Наибольшее расстояние между сшиваемыми функциональными гр. ~0,5 нм.
Диметилсуберимидат (DMS)	 *M* 200,3 Ди-HCl: M 273,2	Ди-HCl: гигр. тв. в-во. $t_{пл}$ 213 ÷ 214. Раств-сть: ди-HCl р. H_2O. Наибольшее расстояние между сшиваемыми функциональными гр. ~1,1 нм.
N-Бромосукцинимид (БСИ; NBS)	 *M* 178,0	Крист. $t_{пл}$ 173 ÷ 175 (разл.). Раств-сть: р. H_2O, ац., лед. укс. кисл. При pH 3–4 в ацетатном или формиатном буферах индольная гр. триптофана окисл. и пептидные связи с карбоксильного кон-

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		па триптофановых остатков расщепляются. NBS – сильный окисл.; он быстро окисл. —SH-гр. и гораздо медл. реагирует с тирозином, гистидином и метнонннном. При более высоких pH (напр., pH 7) пептидная связь почти не расщепляется, и в отсутствие —SH-гр. NBS довольно выраженно специфичен к триптофану. Р-ция с триптофаном сопровождается снижением поглощения при 280 нм и возрастанием прн 261 нм, $\Delta\varepsilon_{261}$ 10300. См. обзоры [Meth. Enzymol. **11**, 283, 498, 506 (1967); **78**, 452, 456 (1978); Adv. Protein Chem. **24**, 97 (1970)].
Бромоциан	CNBr *M* 105,9	Летучие крист. $t_{пл}$ 52. $t_{кип}$ 61 ÷ 62. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH, эф. Селективно расщепляет пептидные связи с карбоксильного конца метиониновых остатков прн комн. т. в сильнокисл. среде; усл. см. [JBC **242**, 5434 (1967)]. Метнониновый остаток превращается в остаток гомосеринлактона. При комн. т. в тв. виде бромоцнан летуч; пары чрезвычайно токснчны (по действию похож на HCN); неуст. в щел., неочищенные тв. препараты взрывоопасны.
Бутандион-2,3 (диацетил; диметнлдикетон; диметилглиоксаль; 2,3-диоксóбутан)	$CH_3COCOCH_3$ *M* 86,1	Желто-зелен. жидк. Запах хннонов. $t_{кип}$ 88. Тример: бесцв. иглы $t_{пл}$ 112,5 ÷ 114. Раств-сть: р. H_2O; ∞EtOH, эф. тример р. H_2O. В мягких усл. при pH 7,5–8 модифицирует аргининовые остатки; прн нспольз. боратных буферов увел. скорость р-ции. Кисл. гндрол. вызывает частичную регенерацию аргннина; обработка 1 M HCl перед кисл. гидролизом предотвращает эту регенерацию н позволяет кол-венно оценить степень модификацни по результатам аминокислотного анализа. В нейтр. и слабощел. усл. 2,3-бутадион легко образует тример (крист. в-во в сухом виде уст. при комн. т.). Тример также использ. как модифицирующий агент для аргинина при тех же pH и также медл. реагирует с $—NH_2$-гр. [Meth. Enzymol. **25**, 566 (1972)].
2-Гидрокси-5-нитробензилбромид (α-бромо-4-нитро-*о*-крезол; реагент Кошланда; HNBB)	 *M* 232,1	Листочки или иглы. $t_{пл}$ 147 ÷ 149. Раств-сть: р. EtOH, эф., ац., диоксан; м. р. бенз., H_2O (разл.). В мягких усл. быстро реагирует с индольным кольцом триптофана; р-ция обычно протекает прн pH 2,5 ÷ 5. Гораздо медл. реагирует с —SH и в сильнощел. средах с —OH тирозина. В отсутствие —SH и при кисл. pH реагент специфичен к триптофану. Степень протекання

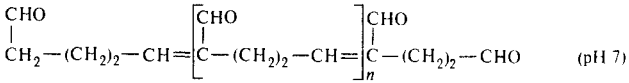
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные

р-ции с триптофаном можно кол-венно оценнть при 410 нм после удаления гидрол. реагента и изменения pH до >10, $\Delta\varepsilon_{410}$ 18450 (в 2 М NaOH) [Meth. Enzymol. **25**, 468 (1972)]. Реагент гидрол. о. быстро в водн. раств. (период полупревращения *< 1 мин*); использ. *в* виде раств. в ац. или диоксане, которые готовят непосредственно перед использ.

Глутаровый альдегнд



I II III

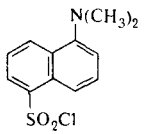


IV

Мономер: *M* 100,1

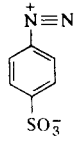
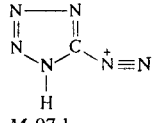
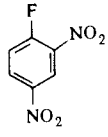
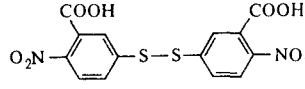
Раств-сть: р. H_2O. Бифункциональный поперечно-сшивающий агент, реагирующий с $—NH_2$-гр. с образованием шиффовых оснований. Коммерческие водн. раств. (25%-ные) глутарового альдегида при pH ~3 содержат 3% глутарового альдегида (I), полуацеталя (II) и полимеров III. Шиффовы основания, образуемые I, при pH 3 неуст. к кисл. гидрол. При нейтр. или слабощел. pH (усл., прн которых реагент обычно использ. для модификации белков) глутаровый альдегид образует полимеры IV; где *n* увел. с увел. pH до тех пор, пока не образуется осадок. При pH ⩾ 7 IV образует кислотоустойчивые шиффовы основания с участием сопряженных внутренних альдегидных гр.; шиффовы основания, образуемые концевыми —CHO-гр. молекул IV неуст. к кнсл. гидрол. Из-за вариабельностн *n* длину поперечных сшивок невозможно определить. См. обзор [Ann. Rev. Biochem. **46**, 523 (1977)]. Использ. как фиксирующее в-во в электронной мнкроскопии.

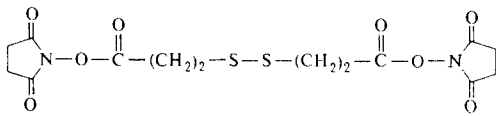
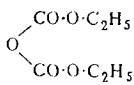
Дансилхлорид (5-дметил-аминонафталин-1-сульфонил-хлорид; ДНС)

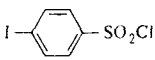


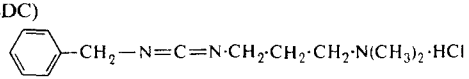
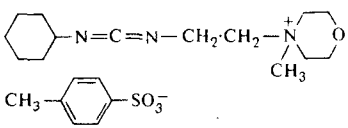
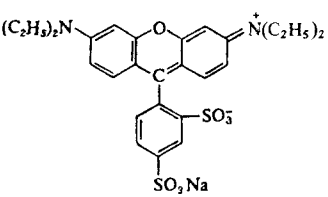
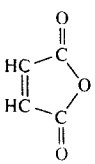
M 269,8

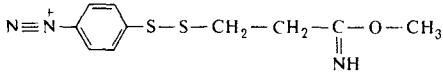
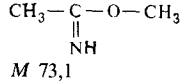
Желт. илн оранж. крнст. $t_{пл}$ 74 ÷ 76. Раств-сть: н. р. H_2O; р. ац., пир., бенз., диоксан. Реагнрует с $—NH_2$-гр., при этом в соединение вводится флуоресцентная метка (диметиламинонафталинсульфонильная гр.). Использ. для анализа концевых аминогр. и определения аминокнслотной последовательности белков в ультрамикроколичествах [BJ **89**, 379 (1963); Meth. Enzymol. **25**, 121, 333 (1972)]. Р-цию обычно проводят при pH 8,5–9; в этих усл. дансилхлорид также реагирует с —SH, тирозиновым —OH, $—NH_2$ лизина и имидазольным азотом гистидина; тиольные и нмидазольные производные неуст. в кисл. и вновь переходят в аминокислоты. ДНС-аминокислоты (кроме ДНС-пролина и ДНС-серина) уст. к кисл. гидрол. Дансилхлорид медл. разл. под действием H_2O. В тв. виде уст. над $CaCl_2$ несколько мес. Конъюгаты: λ_{max} 340 нм; *F* 525 нм.

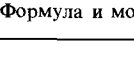
Соединенне (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Диазобензолсульфокислота (DABS)	 *M* 184,2	Раств-сть: м. р. H_2O, EtOH; р. разб. HCl, разб. NaOH. Непроникающий водорастворимый мембранный зонд, ковалентно присоединяется к —NH_2, SH, имидазольной и —OH-тирозиновой группам белков. Раств. диазониевой соли при необходимостн получают из сульфанилловой кисл. и HNO_2 [J. Membrane Biol. **8**, 163 (1972)]; раств. можно хранить замороженным. Крист. легко взрываются от трения, удара илн при нагрев. В тв. виде следует хранить влажной.
Диазоний-1H-тетразол	 *M* 97,1	Раств-сть: р. H_2O. Реагирует с гистидином и тирознном с образованием как моно-, так и дизамещенных производных. Степень протекания р-ции можно контролировать спектрофотометрнческн [Meth. Enzymol. **25**, 521 (1972)]. Может также реагировать с —NH_2-гр. При необходимости реагент получают в виде разб. раств. из 5-амино-1H-тетразола. В сухом виде и в раств. при конц. >0,2M реагент *чрезвычайно взрывоопасен*; раств. не следует высушивать в стеклянной посуде н т. д.
2,4-Диннтрофторобензол (1-фторо-2,4-диннтробензол; ДНФБ; DNFB)	 *M* 186,1	Маслянистая жидк. или крист. $t_{пл}$ 26. $t_{кип}$ 130[1]. Раств-сть: р. бенз., эф., орг. раств-ли; 0,16[15] H_2O. В мягких щел. усл. реагнрует с —NH_2, —SH, тирозиновыми —OH и имидазольнымн гр., образуя динитрофенильные (ДНФ) производные. ДНФ-соединения: λ_{max} ~365 нм, разл. на свету. Имидазольное производное: неуст. к кисл. гидрол. Использ. для идентификации аминоконцевых аминокислотных остатков [Meth. Enzymol. **4**, 221 (1957)], как реагент для модифнкации белков [Meth. Enzymol. **11**, 548 (1967)]. ДНФБ обладает кожно-нарывным действнем (избегать попадания на кожу). λ_{max} 360 нм, ε 14800 (0,01 M NaOH), темнеет при стоянии, особ. на свету.
5,5′-Дитиобнс(2-нитробензойная кислота) (ДТНБ; DTNB; реагент Эллмана)	 *M* 396,4	Желт. порошок. $t_{пл}$ 243 ÷ 245 (разл.). Раств-сть: р. H_2O (pH 8). В мягкнх щел. усл. (pH 7 ÷ 8) реагирует с —SH-гр. с образованием смешанного днсульфида тионитробензоатпротеина и стехиометрических кол-в тионитробензоатдианиона (нитенсивная желтая окраска, $\Delta\varepsilon_{412}$ 13600 (pH 7 ÷ 8)) [Anal. Biochem. **94**, 75 (1979)]. Может нспольз. как для кол-венного определення —SH-гр. в белках н др. соединениях (напр., CoA-SH), так и для модификации —SH-гр. белка. См. обзор [Meth. Enzymol. **25**, 457 (1972)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Дитиобис (сукцинимидилпропионат)	 *M* 404,4	Бифункциональный поперечно-сшивающий реагент (см. лнтературу в начале раздела), реагирующий в первую очередь с —NH_2-гр., образуя амидные связи; также реагирует с —SH и имидазольнымн гр. Связь —S—S— можно расщепить под действнем —SH-содержащих соединений, напр. меркаптоэтанол, что дает возможность разделять поперечно-сшитые субъединицы.
Диэтилпирокарбонат (ангидрид этоксимуравьиной кислоты; диэтилдикарбонат)	 *M* 162,1	Жидк. d_4^{20} 1,12. $t_{кип}$ 155. Раств-сть: 0,6 H_2O (разл.); х. р. EtOH, эф. Реагирует с остаткамн гистидина, обычно при pH 6 ÷ 8 с образованием N-карбэтоксигистидина (λ_{max} 230 ÷ 250 нм, $\Delta\varepsilon_{230}$ 3000, $\Delta\varepsilon_{240}$ 3200). N-Карбэтоксиимидазол довольно уст. при нейтр. pH, период полупревращения при 25°C и pH 7 55 ч., быстро деацилируется при нейтр. pH под действием NH_2OH, но неуст. к кисл. гндрол., при этом регенерируется гистндин. Возможность расщепления нмидазольного кольца делает моднфнкацию гистидина необратимой [FEBS Lett. **72**, 155 (1976)]. Обладает довольно высокой селективностью к гистидину, но может реагировать с —OH тирозина, вызывая уменьш. поглощения при 278 $\Delta\varepsilon_{278}$ 1310) и 230–250 нм; р-ция с тирознном может быть обращена под действнем NH_2OH. Может также медл. реагировать с — SH и —NH_2; р-ции не могут быть обращены NH_2OH. См. обзор [Meth. Enzymol. **47**, 431 (1977)]. Дпэтилпнрокарбонат гидрол. в водн. раст., период полупревращения в фосфатном буфере (прн pH 6) при 25°C 24 мин и (при pH 7) 9 мин; гндрол. ускоряется под действием триса, период полупревращения в трис-буфере при 25°C 1,25 мнн прн pH 7,5 и 0,37 мин при pH 8,2. Раств. готовят непосредственно перед использ. в безводн. EtOH или безводн. ацетонитриле. Вызывает раздражение слизистых оболочек. См. также разд. 13, E.
Иодирующие реагенты		Иоднрование белков может быть использ. для моднфнкацнн тирозиновых остатков и для включения радиоактивных меток ^{131}I и ^{125}I в белок. Тирозиновые и значительно медл. гистидиновые остатки модифнцируются до моно- и дизамещенных производных. Моноиодо- и динодотирозин можно разлнчить спектрофотометрически [JBC **237**, 2778 (1962)]. Иодированные производные гистидина разл. при кисл. гидрол., —SH-гр. окисл. в мягких усл., а в жестких усл. могут модифицироваться также триптофан и метионин [JBC **238**, 1343 (1963)]. Для иодирования белков использ. широкий набор условий н реагентов, включая трнодид калня (см., напр., [Biochem. **5**, 3770

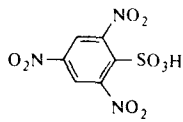
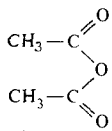
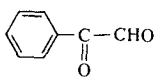
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		(1966); JBC **243**, 720 (1968)], хлорнстый иод [Meth. Enzymol. **25**, 438 (1972)], I^- + хлорамнн Т [BJ **89**, 114 (1963)], I^- + лактопероксидаза + H_2O_2 (эта нодирующая смесь позволяет избежать денатурации белков н является непроникающим через мембраны реагентом для мечення поверхностных мембранных белков [BBRC **40**, 284 (1970)]; присоединненная к агарозе лактопероксидаза легко удаляется из р-ции [Biochem. **13**, 1014 (1974)]. Микромасштабное иодирование перед электрофорезом см. [Anal. Biochem. **95**, 568 (1979)]. Для мечения соединений, не содержащих тирозин илн лабильных в усл. методов с применением хлорамина Т и лактопероксидазы, использ. реагент Болтона–Хантера (иодированный N-сукцнимидил-3-(4-гидроксифенил)пропионат), который реагирует с остатками лнзина в мягких усл. [Meth. Enzymol. **70A**, 221 (1980)].
n-Иодофенилсульфонилхлорид (пипсилхлорид)	 *M* 302,5	Бесцв. крист. $t_{пл}$ 86. Субл. 150[3]. Раств-сть: р. орг. раств-лн. Реагирует с —NH_2 и тирозиновым —OH, образуя уст. *n*-нодофенилсульфонильные (пипсильные) производные. Использ. при определенин аминокислотной последовательностн белков [Meth. Enzymol. **4**, 238 (1957)]. Меченный радиоизотопом, особ. ^{131}I, препарат имеет тенденцию окрашиваться при длнтельном стоянии, но при этом вполне пригоден для использ. Нерадиоактивный реагент уст.
Калия изоцианат	KNCO (К-соль) *M* 81,1 H—N=C=O (свободная кислота) *M* 43,0	Соль К: бесцв. крнст. Раств-сть: р. H_2O; о. п. р. EtOH. Свободная кислота: жидк. $t_{пл}$ −86. $t_{кип}$ 23,5. Раств-сть: р. H_2O, эф. бенз., толуол. Реагирует с —NH_2 (при pH ⩾ 5), —SH, имидазольной гр., тирозиновыми —OH и —COOH, образуя карбамильные производные $(-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH_2)$. Производные с —SH, имидазольной гр. и тирозиновым —OH лабильны при щел. pH (хотя производные по —SH и тнрознновому —OH уст. при pH < 5), р-ция с —COOH протекает только при кисл. pH, напр. при pH 5,3, так что при pH 8 только —NH_2-гр. образуют уст. продукты р-ции с нзоцианатом. При pH ⩽ 7 α-NH_2-гр. реагируют в 100 раз быстрее, чем ε-NH_2, см. обзор [Meth. Enzymol. **11**, 590 (1967)]. Раств. изоцнната при стоянии имеют тенденцию к полимеризации, образуя цнануровую кисл. и циамелид, а также могут разл. в H_2O до CO_2 и NH_3. Разб. раств. свободной кисл. в эф., бенз. или толуоле уст. несколько нед., раств. в H_2O при 0°C

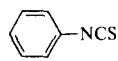
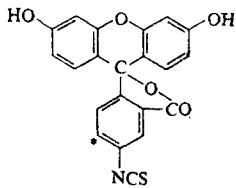
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		уст. несколько ч. Быстрое нагрев. HNCO может привести к взрыву.
Карбодинмиды		Водорастворимые карбодимиды использ. для модификации —COOH. Р-цию обычно проводят при pH 4,5 ÷ 5 в присутствии амина, обычно метилового эфира глицина. —COOH-гр. под действием карбоднимида взаимодействует с добавленным амином, образуя амид. Карбодиимиды реагируют с близкими скоростями с —SH и гораздо медл. с тирозиновым —OH. Тирозиновые производные разл. при обработке 1 М NH_2OH при pH 7; —SH-производные гораздо более уст. CMC реагирует с остатком серина в активном центре сериновых протеаз.
1-Бензил-3-(3-диметиламинопропил)карбодиимид-гидрохлорид (BDC)	 *M* 253,9	Раств-сть: р. H_2O.
1-Циклогексил-3-(2-морфолинил-4-этил)карбодиимидметил-*п*-толуолсульфонат (CMC)	 *M* 423,6	Тв. в-во. $t_{пл}$ 113 ÷ 115. Раств-сть: р. H_2O. $t_{пл}$ 113 ÷ 115. Раств-сть: р. H_2O.
1-Этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодиимид-гидрохлорид (EDC)	$CH_3CH_2N{=}C{=}N(CH_2)_3N(CH_3)_2 \cdot HCl$ *M* 191,8	
Лиссаминродамин B (RB 200; сульфородамин B)	 *M* 580,7	Красный порошок. Раств-сть: р. H_2O; м. р. EtOH. Использ. в виде гидрохлорида, часто закрепленного на цеолите, с целью присоединения флуоресцентной гр. к белкам, напр. для флуоресцентного мечения антител [*Nairn R.C.* (ed.), Fluorescent protein tracing, 3rd ed., Livingtone, 1969; Nature, Lond. **193**, 167 (1962)]. Для конъюгатов: λ_{max} 575 нм, *F* 595 нм. Гидрохлорид медл. гидрол. в H_2O.
Малеиновый ангидрид (*цис*-бутендикислоты ангидрид; фурандион-2,5)	 *M* 98,1	Крист. $t_{пл}$ 52,8. $t_{кип}$ 202. Раств-сть: р. ац., $CHCl_3$, Et-ацетат; м. р. бенз.; м. р. EtOH, образуя эфир; р. H_2O (разл.). Реагирует с гр. α- и ε-NH_2 в мягких щел. усл. (pH 8,5 ÷ 9,0), образуя моноамид [ВЈ **112**, 679 (1969)]. Продукт уст. при нейтр. и щел. pH, но гидрол. при кисл. pH, регенерируя исходный амин; период полупревращения ε-малеилли-

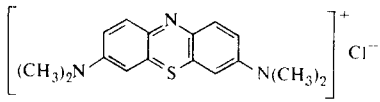
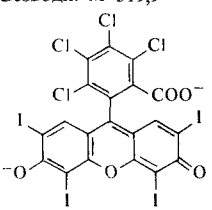
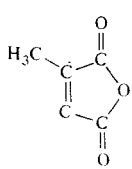
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		зина при pH 3,5 и 37°C ~11 ч. (более уст., чем ε-цитракониллизин). Кол-венно степень протекания р-ции можно оценить по увел. поглощения прн длинах волн <280 нм ($\Delta\varepsilon_{250}$ 3360) при pH 8 [Biochem. **7**, 1941 (1968)]. Малеилирование приводит к замене положительного заряда на гр. $-NH_3^+$ отрицательным на свободной $-COO^-$ маленького остатка, что способствует дезагрегацин олигомерных белков на субъединицы н предотвращает расщепление трипсином по модифицированным остаткам лизина. Реагирует также с гр. —SH, образуя уст. производные (*см.* N-Этилмалеимид), и медл. с тирозиновым —OH (производное щелочелабильно), сериновым и треониновым —OH (обратимо под действием NH_2OH при pH 9). См. обзор [Meth. Enzymol. **25**, 191 (1972)].
Метил-3-(4-азидофенилдитио)пропионимидат	 *M* 280,4	Фоточувствительный гетеробифункциональный поперечно-сшивающий агент. Имидоэфирная гр. обычно реагирует с $-NH_2$ (*см.* Ацетимидат и Бисимидат). Азидогр. ср. неактивна, но активируется под действием света при ~350 нм с образованием высокоактивной нитреновой гр., которая способствует образованию ряда поперечно-сшитых продуктов. Период полупревращения нитреновых групп $10^{-2} \div 10^{-4}$ с, что сводит к минимуму поперечное сшивание белков, сближенных за счет случайных столкновений. Мостик —S—S— может расщепляться тиольными соединениями, напр. меркаптоэтанолом.
Метилацетимидат	 *M* 73,1	Раств-сть: р. H_2O. При pH 7 ÷ 10 реагирует с α- и ε-NH_2 гр. с образованием амидинов. Амидиновые пронзводные сохраняют положительный заряд исходной аминогр.; pK_a амидина немного выше, чем у $-NH_3^+$. При кисл. гидрол. ε-амндиновые гр. частично вновь превращаются в ε-NH_2. Метилацетимидат медл. гидрол. в водн. раств. до ацетнмида и метанола. Прн pH 7 ÷ 11 скорость гидрол. меньше по сравнению со скоростью р-ции с аминами.

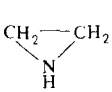
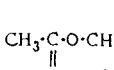
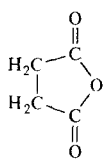
Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
О-Метилизомочевина (2-метилпсевдомочевина)	 *M* 74,1 Кислый сульфат: *M* 172,2	Крист. $t_{пл}$ 44,5. Кислый сульфат: $t_{пл}$ 118 ÷ 120. Раств-сть: х. р. H_2O, EtOH. Реагирует с ε-NH_2, при этом лизин превращается в гомоаргинин и таким образом сохраняется положительный заряд на аминокислотном остатке. α-NH_2-гр. реагируют гораздо медл. или совсем не реагируют. Р-цию обычно проводят при pH 10 ÷ 11 с использ. 0,2–1 М реагента в течение нескольких сут. Гомоаргинин уст. к кисл. гидрол., так что степень модификации можно оценить по аминокислотному анализу; гомоаргинин выходит сразу после аргинина. См. обзор [Meth. Enzymol. **11**, 584, 589 (1967)]. Аналогичными св-ами обладает 1-гуанил-3,5-диметилпиразол, который реагирует в более мягких усл. (pH 9,5), но также с α-NH_2 [Meth. Enzymol. **25**, 558, (1972)]. О-Метилизомочевину следует хранить при −30°С в вакууме в запаянных ампулах; она медл. гидрол. в водн. раств. (за 24 ч при комн. т. на 41%).
Натрия борогидрид (натрия тетрагидроборат)	$NaBH_4$ *M* 37,8	Гигр. крист.; образует дигидрат. $t_{пл}$ дигидрат 36 ÷ 37; безводн. >300 (разл.), Раств-сть р. H_2O, MeOH, жидк. NH_3; м. р. EtOH, тетрагидрофуран. Использ. для восстановительного алкилирования α- и ε-NH_2-гр. Шиффово основание, образующееся между NH_2-гр. и оксосоединением, напр. формальдегидом, пиридоксальфосфатом, восстанавливается $NaBH_4$. В присутствии небольшого избытка HCHO р-ция протекает эффективно при pH 9 и 0–4°С, давая ε-N,N-диметиллизиновые остатки (уст. к кисл. гидрол.) в качестве главного продукта [Biochem. **7**, 2192 (1968); Meth. Enzymol. **47**, 469 (1977)]. Р-ция с участием пиридоксальфосфата может быть использ. для идентификации -NH_2-гр. в активных центрах пиридоксальфосфатзависимых ферментов или чаще всего для введения флуоресцентной метки в белки, в частности в те, что содержат места связывания фосфата. Восстанавливает также гр. —S—S [JBC **244**, 6289 (1969)] и многие природные и искусственные акцепторы электронов. Тв. $NaBH_4$ уст. в высушенном состоянии, разл. под действием влажного возд. Водн. раств. уст. несколько сут. в присутствии 0,2% NaOH, быстро разл. при pH 7, образуя борат и H_2.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Пероксид водорода	H_2O_2 *M* 34,0	Бесцв. жидк. $t_{пл}$ −1,7. $t_{кип}$ 152. Раств-сть: ∞ H_2O; р. EtOH, эф. Окисляет метиониновые остатки до метнонинсульфоксида. При нейтр. н кисл. pH происходит также окисл. —SH-гр. цистеина. При кисл. pH метионин окисл. гораздо быстрее, чем цистеин, так что при pH 2,5 H_2O_2 довольно специфичен к метиониновым остаткам. Метионинсульфоксид при кислотном гидролизе разл. до метионина на ~85%, но не разл. при щел. гидрол. и кол-венно может быть определен непрямыми методами [Meth. Enzymol, **11**, 487 (1967)]. Метионинсульфоксид может быть восстановлен до метионина обработкой тиоламн. См. обзор [Meth. Enzymol. **11,** 485 (1967); **25**, 393 (1972)].
Пермуравьиная кислота (пероксимуравьиная кислота; надмуравьиная кислота)	HCOOOH *M* 62,0	Бесцв. жидк. Раств-сть: ∞ H_2O, EtOH, эф.; р. $CHCl_3$, бенз. Использ. гл. обр. для кол-венного определения остатков цистенна и цистина (оба при этом окисл. до цистеиновой кисл.). Окисл. также метионнн до метионинсульфона и триптофан до формилкинуренина и др. продуктов. Может окисл. также тирозин, серин и треонин, но гораздо медл. и обычно только в жесткнх усл. Усл. для полного окисл. цистеиновых, цнстнновых и метионнновых остатков варьируют для различных белков, при этом побочные р-ции сводятся к min при низкой темп. [JBC **219**, 611 (1956); Meth. Enzymol. **11**, 59 (1967)]. Цистеновая кисл. и метионинсульфон уст. к кисл. гидрол. и могут быть количественно определены аминокислотным анализом. Пермуравьнная кисл. образуется in situ при смешивании H_2O_2 и муравьиной кнсл.; взрывоопасна, особ. в присутствии др. в-в.
Тетранитрометан	$C(NO_2)_4$ *M* 196,0	Св.-желт. жидк. $t_{пл}$ 13,8. $t_{кип}$ 126. d_4^{25} 1,6229. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф. Модифицирует тнрозиновые остатки, образуя 3-нитротирозин; р-цию обычно проводят при pH 8 (при pH 6 р-ция не идет). [Meth. Enzymol. **25**, 515 (1972)]. Нитротирозин можно кол-венно опредялять по поглощению (pH 9,0 λ_{max} 428 нм, ε 4200; в кислом раств. λ_{max} 360 нм, ε 2790; изобестическая точка 381 нм, ε 2200, необходимо предварительно удалять нитроформнат-ион, образующийся в процессе реакции и сильно поглощающнй при 350 нм); нитротирозин уст. к кисл. гидрол. н может быть кол-венно определен аминокис-

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		лотным анализом [BBRC **27**, 20 (1967)]. Обработка нитрометаном может привод нть к поперечным сшивкам, обычно окисл. —SH-гр.; могут также модифицироваться метониновые и триптофановые остатки. Реагент действует раздражающе на кожу и легкие и взрывается в присутствии примесей.
Тринитробензолсульфоновая кислота (пикрилсульфоновая кислота)	 *M* 293,2 Тригидрат: *M* 347,2 Na-соль: *M* 315,2	Тригидрат: бел. чешуйчатые крист. Раств-сть: р. H_2O, бенз. Реагирует с α- и ε-NH_2 гр. при мягких щел. pH (обычно 9,5), образуя тринитрофенильное (ТНФ) производное. Реагирует также с —SH-гр., но не с аргинином, имидазолом, тирозином, серином или треонином. Степень протекания р-ции можно определять по поглощению ТНФ-аминокислот при 335–345 нм (кислые pH) [Anal. Biochem. **14**, 328 (1966)] или по поглощению комплексов ТНФ-аминокислота-сульфит при 420 нм [Meth. Enzymol. **25**, 464 (1972)], а также путем аминокислотного анализа после кисл. гидрол.
Уксусный ангидрид (этановый ангидрид)	 *M* 102,1	Едкая, раздражающая слизистые оболочки жидк. Легко воспламеняется. $t_{пл}$ −73. $t_{кип}$ 139. Раств-сть: медл. р. H_2O (образуется укс. кисл.); ∞ EtOH (образуется эфир); р. $CHCl_3$, бенз. Один из лучших реагентов для ацетилирования аминогр. в белках [Meth. Enzymol. **25**, 494 (1972)]. При нейтр. или слабощел. pH (7 ÷ 9,5) реагирует с непротонированными α- и ε-NH_2-гр., которые при этом становятся электронейтральными. Тирозиновый —OH также легко ацетилируется, но ацетильные гр. удаляются в умеренно щел. усл. или 1 M NH_2OH (pH 7 ÷ 9, 0°C, 2 ч). Сериновый —OH, треонинновые —OH и —SH также ацетилируются; ацетильные гр. удаляются NH_2OH при щел. pH. Период полупревращения укс. ангидрида в H_2O 50 мин при 0°C, 4,5 мин при 25°C.
Фенилглиоксаль (бензоилформальдегид)	 *M* 134,1 Гидрат: *M* 152,1	Желт. жидк. $t_{кип}$ 120^{50}. Гидрат: иглы +1 H_2O. $t_{пл}$ 91. Раств-сть: р. H_2O. При pH, близких к нейтр., реагирует с гуанидиновыми гр. аргининовых остатков, давая производные, содержащие два фенилглиоксалевых остатка на одну гуанидиновую гр. [JBC **243**, 6171 (1968)]. Производные уст. в мягких кисл. усл. (pH < 4), но медл. разл. при нейтр. и щел. pH, регенерируя большинство исходных гуанидиновых гр. В этих усл. фенилглиоксаль реагирует также с

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		α-NH_2-гр., образуя α-оксокислотные остатки; ε-NH_2-гр. могут реагировать при длительной обработке фенилглиоксалем.
Фенилизотиоцианат (ФИТЦ; PITC)	 *M* 135,2	Бесцв. жидк. d_4^{25} 1,1288. $t_{пл}$ −21. $t_{кип}$ 221^{760}, 95^{12}. Раств-сть: н. р. H_2O; р. EtOH, эф. Взаимодействует с —NH_2-гр. с образованием фенилтиокарбамоильных (ФТК) производных. При расщеплении по Эдману с целью определения белковой последовательности от полипептида отщепляется α-ФТЦ-производное аминоконцевого аминокислотного остатка и циклизуется с образованием фенилтиогидантоина (ФТГ).
Флуоресцеинизотиоцианат (ФлИТЦ; FITC)	 *M* 389,4	Ярко-желт. порошок. Раств-сть: р. H_2O, ац. Использ., часто как адсорбированный на цеолите, для присоединения флуоресцентной гр. к белкам, напр. для слежения за флуоресцентно-мечеными антителами [*Nairn R. C.* (ed.), Fluorescent protein tracing, 3rd. ed., Livingstone, 1969; Nature 193, 167 (1962)], и в иммунологических исследованиях [J. Neurochem. **31**, 1375 (1978)]. Разл. в H_2O, в тв. виде при комн. т. уст. не менее одного года. Известны два изомера: ФлИТЦ II (формула изображена) и ФлИТЦ I (изотиоцианатная гр. находится в положении, отмеченном звездочкой). Для конъюгатов: λ_{max} 495 нм, *F* ~520 нм. Получ. флуоресцентно-меченых белков см., напр., [Meth. Enzymol. **26**, 38 (1972); **81**, 70 (1982); **93**, 151 (1983)].
Фотоокисляющие красители		Цистеиновые, гистидиновые, метиониновые, триптофановые и тирозиновые остатки в белках могут окисл. в присутствии фотоактивного красителя при облучении видимым светом [ABB **110**, 57 (1965); Meth. Enzymol. **11**, 490 (1967); **25**, 401 (1972)]. Использ. много различных красителей, чаще всего метиленовый синий, бенгальский розовый, эозин Y, флуоресцеин, кристаллический фиолетовый и рибофлавин. Часто оказывается, что при фотоокисл. определенного белка модифицируется только один или два типа остатков [EJB **26**, 125 (1972); BBRC **65**, 652 (1975)], метод широко использ. для исследования активных центров ферментов, напр. [PNAS **57**, 107 (1967); J. Biochem., Tokyo **69**, 363 (1971); Biochem. **10**, 2143 (1971); BBA **295**, 543 (1973)]. Механизм окисл. варьирует в зависимости от усл.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
		и красителя [Science **162**, 963 (1968)], что приводит к различным продуктам окисл. [ABB **33**, 90 (1951); Meth. Enzymol. **11**, 490 (1967); Biochem. **8**, 5149 (1969); Ann. N.Y. Acad. Sci. **171**, 149 (1970); Aust. J. Chem. **24**, 1285 (1971)].
Метиленовый синий (метилтионинхлорид; тетраметилтионинхлорид)	 Безводн: *M* 319,9	Темно-зелен. крист.; содержат $\leqslant 5\ H_2O$. Раств-сть: р. H_2O, EtOH, $CHCl_3$; н.р. эф.
Бенгальский розовый (4,5,6,7-тетрахлоро-2′,4′,5′,7′-тетраиодофлуоресцеин)	 Неионизированная кислота: *M* 973,6 Na_2-соль; *M* 1017,6 K_2-соль; *M* 1049,8	Блестящие розоватые крист. Раств-сть: р. H_2O.
Циклогександион-1,2 (дигидрокатехол; 1,2-диоксоциклогексан)	 *M* 112,1	Крист. $t_{пл}$ 35 ÷ 38. $t_{кип}$ 193 ÷ 195. Раств-сть: р. H_2O. В боратных буферах (pH 8 ÷ 9) при 25 ÷ 40°C селективно модифицирует аргининовые остатки [JBC **250**, 557 (1975)]. В ранних методиках предлагались более щел. усл. (0,2 M NaOH [JBC **242**, 1036 (1967)]; pH 11 ÷ 12 [Biochem. **7**, 2886 (1968)]; способен вызывать денатурацию. В некоторых усл. может реагировать также с —NH_2-гр., давая желт. окрашивание (λ_{max} ~440 нм).
Цитраконовый ангидрид (2-метилмалеиновый ангидрид)	 *M* 112,1	Жидк. $t_{пл}$ 7 ÷ 8. $t_{кип}$ 213. d_4^{20} 1,245. Раств-сть: р. H_2O (разл.); х.р. EtOH; р. ац. Использ. для обратимой защиты —NH_2-гр. белка (р-ция при pH 8–9) [Meth. Enzymol. **25**, 546 (1972)]. Цитраконильные защитные гр. уст. многие ч. при нейтр. или слабощел. pH, но удаляются в кисл. среде, напр. при pH 4,2, 40°C за 3 ч (лизоцим), при pH 2 и комн. т. за 6 ч (альдолаза). При использовании в качестве защитной группировки могут образоваться два изомерных цитраконильных полуамида, но они имеют одинаковую уст. Реагирует также с —SH, образуя уст. производные, и с —OH серина и треонина, образуя производные, разл. под действием щел. раств. NH_2OH.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Этиленимин (азациклопропан; азиридин)	 *M* 43,1	Жидк.; аммиачный запах. $t_{кип}$ 55 ÷ 56. Раств-сть: ∞ H_2O; р. EtOH. Работать соблюдая *чрезвычайную осторожность*. В-во токсично, раздражает слизистые оболочки; канцероген; о. едкое действие. Полимеризуется, довольно уст. над гранулированным NaOH. Реагирует с —SH цистеина при слабощел. pH, образуя $H_2N\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}S$— и вводя новые трипсинчувствительные центры в белковую цепь. Усл. р-ции см. [JBC **241**, 3457 (1966)]. При низких pH может реагировать с метиониновыми остатками.
Этиловый эфир иминоуксусной кислоты	 Гидрохлорид: *M* 123,7 Свободное основание: *M* 87,2	Гидрохлорид: крист. $t_{пл}$ 112 ÷ 114. Раств-сть: р. H_2O. Реагирует с α- и ε-NH_2 при pH 7–10, образуя амидины. Амидиновые производные сохраняют положительный заряд исходной аминогруппы; pK_a амидина немного выше, чем у —NH_3^+. ε-Амидиновые гр. при кисл. гидрол. частично вновь превращаются в ε-NH_2. Этилацетимидат медл. гидрол. в водн. раств. до ацетамида и этанола. При pH 7 ÷ 11 скорость гидрол. меньше скорости р-ции с аминами.
Янтарной кислоты ангидрид (ангидрид бутандикислоты; 2,5-диоксотетрагидрофуран; 2,5-дикетотетрагидрофуран)	 *M* 100,1	Бел. крист. $t_{пл}$ 120. Раств-сть: р. $CHCl_3$, EtOH (образуется эфир); м. р. H_2O (разл.), эф. Реагирует преимущественно с —NH_2-гр. при pH 7 ÷ 9, превращая положительный заряд аминогруппы в отрицательный [Biochem. **8**, 2890 (1969)]. Введение отрицательного заряда способствует диссоциации белков на субъединицы (*см.* Малеиновый ангидрид). Сукцинильные полуамидные производные более уст., чем малеильные производные, но гидрол. в 6 М HCl при 100°C. Могут модифицироваться —OH тирозина (O-сукцинилтирозин неуст. при pH > 5), —OH серина и треонина (модификация обратима под действием NH_2OH [JBC **242**, 2739 (1967)]) и, возможно, —SH. Период полупревращения янтарного ангидрида в H_2O при 25°C 4,3 мин.

17. Константы устойчивости комплексов металлов

По способности к комплексообразованию ионы металлов можно расположить в следующем порядке: щелочные металлы (Na^+, K^+ и др.). < щелочноземельные (Mg^{2+}, Ca^{2+} и др.) < переходные металлы.

Щелочные и щелочноземельные металлы образуют наиболее прочные комплексы с оксоанионами, переходные металлы – с N-содержащими и в меньшей степени с S-содержащими соединениями, такие металлы, как Zn и Hg, образуют наиболее прочные комплексы с тиосоединениями. Способность двухзарядных ионов переходных металлов к комплексообразованию меняется обычно в соответствии с рядом Ирвинга–Вильямса: Mn < Fe < Co < Ni < Cu > Zn.

Константы устойчивости. Для взаимодействия между металлом M и лигандом L, т.е. для реакции $M + L \rightleftharpoons ML$, константа устойчивости определяется как $K_1 = [ML]/[M][L]$. Металл может соединяться более, чем с одной молекулой лиганда, напр. $ML + L \rightleftharpoons ML_2$, $K_2 = [ML_2]/[ML][L]$, и т.д.

На практике при образовании более одного (2, 3, ..., n) комплекса говорят о полных константах устойчивости:

$$\beta_2 = K_1 K_2$$
$$\beta_3 = K_1 K_2 K_3$$
$$\beta_n = K_1 K_2 \ldots K_n$$

Могут встречаться и другие равновесия, для которых также можно записать выражения для констант устойчивости, например:

$$M + HL \rightleftharpoons MNL \qquad K^M_{MHL} = [MHL]/[M][HL]$$
$$M + ML \rightleftharpoons M_2L \qquad K^M_{M_2L} = [M_2L]/[M][ML]$$

Данные по константам устойчивости взяты в основном из работ [1–3]. Методы определения констант устойчивости описаны в работе [4]. По возможности, цитируются данные, полученные для следующих условий: 25–30°C, ионная сила 0,01 ÷ 0,5 (то же для pK_a): приведенные значения не являются «термодинамическими» константами. Естественно, в настоящее время пока нет исчерпывающих количественных данных для всех соединений.

Как пользоваться таблицами.

а) *Перевод абсолютных констант в «кажущиеся».* Если специально не оговорено, приведены абсолютные константы устойчивости, т.е. независимые от pH. На практике гораздо чаще пользуются «кажущимися» константами, т.е. K при данном pH. Кажущаяся константа устойчивости учитывает все формы комплексообразующих частиц, в то время как абсолютная константа учитывает комплексообразование только с наиболее «сильными» анионами

$$K_{\text{каж}} = [ML]/[M]([L]_T - [ML]) = [ML]/[M][L]_T,$$

где $[L]_T$, – суммарное содержание всех форм лиганда, присутствующих в растворе и не вошедших в комплекс с металлом.

В первом приближении, когда pK_a лиганда $> pH + 1$, $\lg K_{\text{каж}}$ можно рассчитать, вычтя поправку $\lg \alpha$, равную $pK_a - pH$. Напр., для α-аланина pK_{a2} 9,9 и если pH 7,0, то

$$\lg \alpha = pK_a - pH = 9{,}9 - 7{,}0 = 2{,}9$$
$$\lg K_1\,(\text{каж.})\,(Cu^{2+}) = 8{,}5 - 2{,}9 = 5{,}6$$

Для полных констант можно использовать следующие соотношения:

$$\lg \beta_2\,(\text{каж.}) = \lg \beta_2 - 2\lg \alpha$$
$$\lg \beta_3\,(\text{каж.}) = \lg \beta_3 - 3\lg \alpha \text{ и т.д.}$$

Этот подход использован при составлении разд. А, где для ЭДТА приведены кажущиеся константы устойчивости при pH 7,0 и 8,0.

Для лиганда L, для которого известно n значений pK_a

$$\alpha = [H^+]^n/K_{a1}K_{a2}\ldots K_{an} + [H^+]^{n-1}/K_{a1}K_{a2}\ldots K_{a(n-1)} + \ldots + [H^+]/K_{a1} + 1$$

Так, ЭДТА имеет pK_{a1} pK_{a2}, pK_{a3} и pK_{a4} и при pH 7,0 $\alpha = 2{,}08 \cdot 10^3$ и $\lg \alpha = 3{,}3$. Для Mg-ЭДТА при pH 7,0: $\lg K_1$ (каж.) = 8,7 − 3,3 = 5,4. Кажущиеся константы устойчивости неотличимы от абсолютных констант устойчивости при pH на две или более единиц выше pK_a.

б) *Вычисление концентраций свободного металла и свободного лиганда.*

1) Пусть лиганд присутствует в избытке и образуются только комплексы 1:1, тогда

$$[ML] \simeq [M]_T$$
$$[L]_{T'} \simeq [L]_T - [M]_T = [L]$$

и концентрация свободных ионов металла

$$[M] = [M_T]\alpha/K_1([L]_T - [M]_T)$$

2) Пусть ионы металла присутствуют в избытке, тогда

$$[ML] \approx [L]_T$$
$$[M] \approx [M]_T - [L]_T$$

и концентрация свободного лиганда

$$[L] = [L]_T/K_1([M]_T - [L]_T)$$

Эти уравнения позволяют вычислять концентрации M, L и ML, а следовательно, состав буферов по ионам металла и лигандам [5] в данных конкретных условиях. Существуют компьютерные программы для более сложных систем, включающих ML, ML_2, ML_3 и т.д., или смешанные комплексы. (См., например, [5], где более полно обсуждаются металл-ионные буферы и концепция pM.)

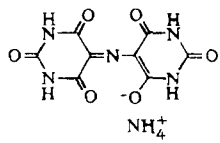
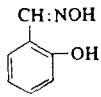
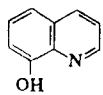
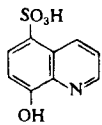
Комплексообразование влияет на окислительно-восстановительный потенциал ионных пар металлов, причем смещение потенциала зависит от различий в константах устойчивости комплексов, в которых металл находится в двух различных валентных состояниях. Количественную оценку таких равновесий см. в работе [6].

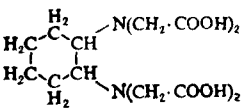
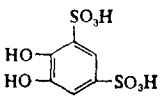
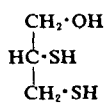
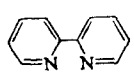
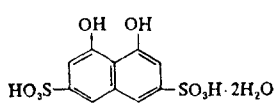
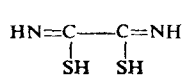
Из рассмотрения в данном разделе в целях разгрузки приводимого материала исключены макроциклические лиганды, такие, как краун-эфиры, образующие растворимые в липидах комплексы с металлами, в которых металл «спрятан» от растворителя. Несмотря на важную роль этих лигандов для биологических систем, в настоящее время получено еще очень мало количественных данных о константах их устойчивости [7].

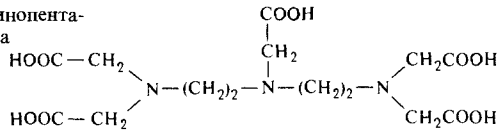
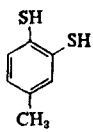
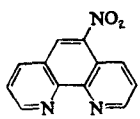
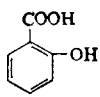
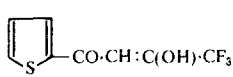
Литература

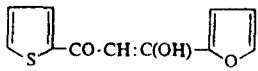
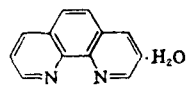
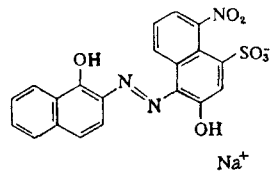
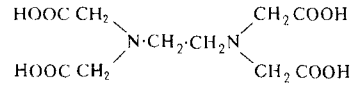
1. Stability constants of metal-ion complexes (1964). Comiled by L. G. Sillén and A. E. Martell. Special Publication No. 17, The Chemical Society, London.
2. Stability constants of metal-ion complexes. Supplement No. 1 (1971). Compiled by L. G. Sillén and A. E. Martell. Special Publication No. 25, The Chemical Society, London.
3. Stability constants of metal-ion complexes: organic ligands (1979). Compiled by D. D. Perrin. Pergamon Press, Oxford.
4. *Поссомпи Ф., Поссомпи Х.* Определение констант устойчивости и других констант равновесия в растворах.–М.: Мир, 1965.
5. *Perrin D. D., Dempsey B.*, Buffers for pH and metal-ion control, Chapman and Hall, London, 1974.
6. *Perrin D. D.*, Organic complexing reagents, Robert E. Krieger Publ. Co., Huntington, New York 1978.
7. *Pederson C. J., Frensdorff H. K.*, Angew. Chem. (Internat. Edn.) **11**, 16 (1972).
8. *O'Sullivan W. J., Smithers G. W.*, Stability constants for biologically important metal-ligand complexes, Meth. Enzymol. **63**, 294 (1979).

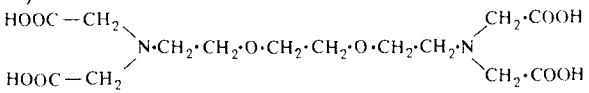
A. Хелатирующие агенты

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Аммонийная соль N-нитрозофенилгидроксиламина (купферрон)	$C_6H_5N(NO)ONH_4$ *M* 155,1	pK_a 4,2. При pH 7,0 L^-. Р. H_2O и EtOH; комплексы металлов н. р. H_2O; раств. CCl_4 (использ. для разделений методом жидкостной экстракции). Реагент и комплексы, как правило, неуст.
Аммония пурпурат (мурексид)	 *M* 284,2 Гидрат: *M* 302,2	pK_a 9,2; 10,5. При pH 7,0 H_2L^-. K_1 (Ca) 5. $K^M_{MH_2L}$ (Mg) 2,2; (Ca) 2,7; (Co) 2,5; (Cu) 3,5; (Zn) 3,1. Р. H_2O. Образует раств. окрашенные комплексы с двухвалентными металлами. Использ. гл. обр. для определения конц. Ca^{2+}, а также Cu^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}. Др. комплексы слишком неуст. для использ. в аналит. целях.
α-Бензоиноксим (купрон)	$C_6H_5CHOHC(:NOH)C_6H_5$ *M* 227,3	М. р. H_2O; комплексы н. р. H_2O. Использ. для определения Mo(VI).
N,N-Бис(гидроксиэтил)глицин (бицин)	$(HOCH_2CH_2)_2NCH_2COOH$ *M* 163,2	pK_a 1,7; 8,1. При pH 7,0 L^-. K_1 (Ca) 2,8; (Mn) 3,1: (Fe) 4,3; (Co) 5,3; (Ni) 6,4; (Cu) 8,1; (Zn) 5,4; β_2 (Mn) 5,4; (Fe) 7,3; (Co) 8,8; (Ni) 10,8; (Cu) 13,3; (Zn) 8,6.
2,3-Бутандиондиоксим (диметилглиоксим)	$CH_3C(:NOH)C(:NOH)CH_3$ *M* 116,1	pK_a 12,8. При pH 7,0 HL. K_1 (Co) 8,4; (Cu) 9,1. β_2 (Co) 17,0; (Ni) 17,0; (Cu) 18,5. Н. р. H_2O; р. EtOH. Образует раств. комплексы с Co^{2+}, Cu^{2+}, Fe^{2+}; нераств. комплексы с Ni^{2+}. Использ. для кол-венного определения Ni^{2+}.
o-Гидроксибензальдегидоксим (салицилальдоксим)	 *M* 137,1	pK_a 8,9; 11,1. При pH 7,0 H_2L. K^M_{MHL} (Mg) 0,6; (Ca) 0,9; (Co) 8,1; (Ni) 3,8; (Cu) 4,2. М. р. H_2O. Образует комплексы с тяжелыми металлами, желт.-зелен. осадок с Cu.
8-Гидроксихинолин (оксин; 8-хинолинол; 8-оксихинолин)	 *M* 145,2	pK_a 5,1; 9,9. При pH 7,0 HL. K_1 (Mg) 4,7; (Ca) 3,3; (Mn) 6,8; (Fe) 8,0; (Co) 9,1; (Ni) 9,9; (Cu) 12,2; (Zn) 8,5. β_2 (Mn) 12,6; (Fe) 15,0; (Co) 17,2; (Ni) 18,7; (Cu) 23,4; (Zn) 17,6. М. р. H_2O. Комплексы с Mg и Ca умеренно р., др. н. р.
8-Гидроксихинолин-5-сульфоновая кислота (сульфоксин)	 *M* 225,2	pK_a 1,3; 4,1; 8,7. При pH 7,0 HL^-. K_1 (Mg) 4,8; (Ca) 3,5; (Mn) 6,9; (Fe) 8,4; (Co) 8,8; (Ni) 9,8 (Cu) 12,5; (Zn) 8,7. β_2 (Mg) 8,4; (Fe) 15,1; (Co) 15,9; (Ni) 18,5; (Cu) 23,1; (Zn) 16,2. Более высокая раств-сть лиганда и комплексов, чем у оксина.
N-(2′-Гидроксиэтил)иминодиуксусная кислота	$HOCH_2CH_2N(CH_2COOH)_2$ *M* 177,2	pK_a 2,2; 8,7. При pH 7,0 HL^-. K_1 (Mg) 3,5; (Ca) 4,7; (Mn) 5,6; (Fe) 6,8; (Co) 8,1; (Ni) 9,4; (Cu) 11,9; (Zn) 8,4. β_2 (Mn) 9,4; (Co) 12,4; (Ni) 14,5; (Cu) 16,0; (Zn) 12,3. lg K_1 (Fe^{III}) 11,6.

Соединенне (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные[a]
транс-1,2-Диаминоциклогексантетрауксусная кислота	 *M* 346,3 $+H_2O$: *M* 364,3	pK_a 2,4; 3,5; 6,1; 12,4. При pH 7,0 HL^{3-}. K_1 (Mg) 11,0; (Ca) 13,2; (Mn) 17,4; (Fe^{III}) 28,1; (Co) 19,6; (Ni) 19,4; (Cu) 22,0; (Zn) 19,3. Использ. для предотвращения осаждения Mn из 3 M щел. при определениях орг. соединений в щел. раств.
4,5-Дигидроксибензол-1,3-дисульфокислота (пирокатехин-3,5-дисульфокислота; тирон; тайрон)	 *M* 270,2 Na_2-соль: *M* 314,2	pK_a 7,7; 12,6. При pH 7,0 H_2L^{2-}. K_1 (Mg) 6,9; (Ca) 5,8; (Mn) 8,6; (Co) 9,5; (Ni) 10,0; (Cu) 14,5; (Zn) 10,4. β (Fe) 47,7; (Cu) 25,5. $K^{M}_{\text{мнл}}$ (Mg) 2,0; (Ca) 2,2; (Fe^{III}) 20,8; (Co) 3,1; (Ni) 3,0; (Cu) 5,5; (Zn) 3,3. lg $K_{\text{каж}}$ (Ca^{2+}) 1,8 (pH 7,2). lg β_2 (Zn^{2+}) 18,6. Использ. при колориметрич. определении Fe^{3+}.
2,3-Димеркаптопропанол-1 (димеркапрол; BAL)	 *M* 124,2	pK_a 8,7. При pH 7,0 H_2L. K_1 (Mn) 5,2; (Zn) 13,5. β_2 (Mn) 10,4; (Fe) 15,8; (Ni) 23,0; (Zn) 23,0. Н. р. H_2O. Общий хелатирующий агент тяжелых металлов. Использ. в терапевтич. практике при отравлении Pb, As, Hg.
2,2′-Дипиридил (α,α′-бипиридил)	 *M* 156,2	pK_a 4,4. При pH 7,0 L. K_1 (Mg) 0,5; (Mn) 2,5; (Fe) 4,3; (Co) 5,6; (Ni) 7,1; (Cu) 8,5; (Zn) 5,4. β_2 (Mn) 4,6; (Fe) 7,9; (Co) 11,2; (Ni) 13,9; (Cu) 14,0; (Zn) 9,8. β_3 (Mn) 6,3; (Fe) 17,3; (Co) 16,0; (Ni) 20,1; (Cu) 17,9; (Zn) 13,5.
3,6-Дисульфо-1,8-дигидроксинафталин (хромотроповая кислота; 1,8-дигидроксинафталин-3,6-дисульфокислота)	 Гидрат ($+2H_2O$): *M* 356,2 Na_2-соль ($+2H_2O$): *M* 400,3	pK_a 5,4. При pH 7,0 HL^{3-}. K_1 (Cu) 13,4 Р. H_2O. Образует комплексы (раств. в H_2O и обычно окрашенные) с тяжелыми металлами, а также с Al, Be.
Дитиооксамид (рубеановая кислота; диамид дитиощавелевой кислоты)	 *M* 120,2	pK_a 10,6. При pH 7,0 H_2L. Р. водн. EtOH. Образует окрашенные комплексы с переходными и тяжелыми металлами. Использ. для обнаружения Cu (зеленый осадок) на хроматограммах и в гистохимических преп. Др. комплексы р. H_2O, кроме комплексов Co и Ni (р. в кисл. раств.).
Дифенилтиокарбазон (дитизон)	$C_6H_5NNCSNHNHC_6H_5$ *M* 256,3	pK_a 4,5. При pH 7,0 L^-. Дитизон и его комплексы н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. Использ. при экстракции примесей тяжелых металлов из водн. раств. Комплексы интенсивно окрашены и использ. для анал. определения многих металлов, напр. Zn [ABB **46**, 345 (1953); JBC **237**, 1129 (1962); Anal. Chim. Acta **110**, 21 (1979)].

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Диэтилентриаминопентауксусная кислота	 M 393, 4	pK_a 1,8; 2,6; 4,4; 8,8; 10,4. При pH 7,0 H_2L^{3-}. K_1 (Mg) 9,3; (Ca) 10,6; (Mn) 15,1; (Fe^{III}) 28,6; (Co) 19,0; (Ni) 20,2; (Cu) 21,1; (Zn) 18,7.
Калия ксантогенат	C_2H_5OCSSK *M* 160,3	При pH 7,0 L^-. Р. H_2O (раств. неуст.). Образует окрашенные комплексы (н. р. H_2O) с тяжелыми металлами. Использ. при определениях Mo.
4-Метил-1,2-димеркаптобензол (дитиол; толуол-3,4-дитиол)	 *M* 156,3	При pH 7,0 H_2L. М. р. в водн. щел.; р. орг. раств-ли. Образует малорастворимые окрашенные комплексы с тяжелыми металлами.
Натрия диэтилдитиокарбамат (купраль)	$(C_2H_5)_2NCSSNa$ Гидрат (+3 H_2O): *M* 225,3	При pH 7,0 L. β_2 (Ni) 12,5; (Zn) 11,5. Р. H_2O (раств. неуст.). Комплексы с металлами н. р. H_2O. Использ. для экстракции тяжелых металлов в несмешивающихся раств-лях, а также для колориметрич. определения Cu, Ni и Co.
Нитрилотриуксусная кислота	$N(CH_2COOH)_3$ *M* 191,1 Na_3-соль (+1 H_2O): *M* 275,1	pK_a 1,9; 2,5; 9,8. При pH 7,0 HL^{2-}. K_1 (Mg) 5,5; (Ca) 6,5; (Mn) 7,4; (Fe^{III}) 15,9; (Co) 10,8; (Ni) 11,5; (Cu) 13,1; (Zn) 10,4.
5-Нитро-1,10-фенантролин	 *M* 225,2	pK_a 3,2. При pH 7,0 L. K_1 (Mg) 3,5; (Fe) 5,1; (Co) 6,3; (Ni) 7,0; (Cu) 8,0; (Zn) 5,5. β_3 (Fe) 18,0; (Co) 16,6; (Ni) 20,4; (Cu) 17,7. Др. замещенные 1,10-фенантролины (напр., 5-Br, 5-Me) обладают аналогичными хелатообразующими св-вами. 2-Замещенные соединения имеют более слабую хелатирующую способность.
Салициловая кислота (*о*-гидроксибензойная кислота)	 *M* 138,1	pK_a 2,9; 13,1. При pH 7,0 HL^-. K_1 (Ca) 0,5; (Mn) 5,9; (Fe) 6,6; (Co) 6,7; (Ni) 7,0; (Cu) 10,6. М. р. H_2O. Образует прочные комплексы с Cu, Al, Fe^{3+}. Использ. для выведения Be (lg K_1 4,3) при отравлениях Be.
Теноилтрифтороацетон (4,4,4-трифторо-1-(2-тиенил)-1,3-бутандион)	 *M* 222,2	pK_a 6,2. При pH 7,0 L^-. М. р. H_2O; р. бенз. Образует комплексы (обычно н. р. H_2O, р. бенз.) с тяжелыми металлами. Использ. в методах жидкостной экстракции.

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
2-Теноил-2-фуроилметан	 *M* 220,3	pK_a 12,3. При pH 7,0 HL. Н. р. H_2O; р. орг. раств-ли. Образует комплексы (н. р. H_2O) с тяжелыми металлами.
Тиомочевина (тиокарбамид)	NH_2CSNH_2 *M* 76,1	При pH 7,0 L. Р. H_2O. Образует раств. комплексы с тяжелыми металлами. Использ. в первую очередь как маскирующий агент для Cu^{2+}. Довольно сильный восстановитель.
Триэтилентетрамин (триен)	$H_2NCH_2CH_2NHCH_2CH_2NHCH_2CH_2NH_2$ *M* 146,2 ·2HCl: *M* 219,2	pK_a 3,3; 6,6; 9,1; 9,8. При pH 7,0 H_2L^{2+}. K_1 (Mn) 4,9; (Fe) 7,8; (Ni) 14,0; (Cu) 20,4; (Zn) 12,1. K^{M}_{MHL} (Ni) 8,9; (Cu) 14,0; (Zn) 7,3.
1,10-Фенантролин (*о*-фенантролин)	 Гидрат (·H_2O): *M* 198,2	pK_a 5,0. При pH 7,0 L. K_1 (Mg) 1,5; (Ca) 0,5; (Mn) 3,9; (Fe) 5,8; (Co) 7,3; (Ni) 8,6; (Cu) 6,3; (Zn) 6,4. β_2 (Mn) 7,0; (Fe) 11,2; (Co) 14,0; (Ni) 16,7; (Cu) 12,5; (Zn) 12,1. β_3 (Mn) 10,0; (Fe) 16,5; (Co) 20,0; (Ni) 24,0; (Cu) 18,0; (Zn) 17,0. Использ. для удаления Zn из Zn-металлоферментов [JBC **235**, 64 (1960)], а также для спектрофотометрич. определения Fe^{2+}.
Эриохром черный Т (1-(1-гидрокси-2-нафтилазо)-2-гидрокси-5-нитронафталин-4-сульфоновая кислота)	 *M* 439,4 Na-соль: *M* 461,4	pK_a 6,3; 11,6. При pH 7,0 H HL^{2-}. K_1 (Mg) 7,0; (Ca) 5,5; (Co) 20,0; (Cu) 21,4; (Zn) 12,3. Р. H_2O. Образует окрашенные комплексы с многими двухзарядными ионами металлов. Использ., в частности, для аналитич. определения Mg.
Этилендиамин (1,2-диаминоэтан)	$NH_2CH_2CH_2NH_2$ *M* 60,1	pK_a 7,2; 9,9. При pH 7,0 H_2L^{2+}. K_1 (Mg) 0,4; (Mn) 2,7; (Fe) 4,3; (Co) 5,9; (Ni) 7,6; (Cu) 10,7; (Zn) 6,0. β_2 (Mn) 4,8; (Fe) 7,5; (Co) 10,7; (Ni) 14,0; (Cu) 20,0; (Zn) 11,0. β_3 (Mn) 5,7; (Fe) 9,5; (Co) 13,8; (Ni) 18,5; (Zn) 13,0.
Этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА; EDTA; хелатон III; версен, секвестрол)	 *M* 292,2	pK_a 2,0; 2,7; 6,2; 10,3. При pH 7,0 HL^{3-}. K_1 (Mg) 8,7; (Ca) 10,6; (Mn) 14,0; (Fe) 14,2; (Co) 16,0; (Ni) 18,6; (Cu) 18,8; (Zn) 16,4. K_1 (каж.) при pH 7 (Mg) 5,4; (Ca) 7,3; (Mn) 10,7; (Fe) 10,9; (Co) 12,7; (Ni) 15,3; (Cu) 15,5; (Zn) 13,1. K_1 (каж.) при pH 8 (Mg) 6,4; (Ca) 8,3; (Mn) 11,7; (Fe) 11,9; (Co) 13,7; (Ni) 16,3; (Cu) 16,5; (Zn) 14,1. lg K_1 (Na^+) 1,7. Использ. в качестве основы буферных растворов по определенным ионам металлов и для титрования ионов металлов. Использ. для устранения ингибирования катализируемых ферментами

Соединение	Некоторые характеристики
	р-ций следовыми кол-вами тяжелых металлов [BJ **79**, 584 (1961); BBA **64**, 83 (1962); **77**, 142 (1963)]. Слабый комплексообразователь для Ag^+.
Na_2-соль $C_{10}H_{14}O_8N_2Na_2 \cdot 2H_2O$ *M* 372,3	
(Этилендиокси)диэтилендинитрилотетрауксусная кислота (EGTA)  *M* 380,4	$pK_a < 2$; 2,7; 8,8; 9,5. При pH 7,0 H_2L^{2-}. K_1 (Mg) 5,2; (Ca) 11,0; (Mn) 12,1; (Fe) 11,8; (Co) 12,3; (Ni) 11,8; (Cu) 17,7; (Zn) 12,9. K^{M}_{MHL} (Mg) 3,4; (Ca) 5,3; (Mn) 7,0; (Fe) 6,4; (Co) 8,0; (Ni) 8,3; (Cu) 12,6; (Zn) 8,4. Использ. как хелатирующий агент для Ca^{2+} в присутствии Mg^{2+} [Helv. chim. Acta 47, 1801 (1964)].

[a] Данные по константам устойчивости приведены в виде lg.

Б. Соединения, используемые в биохимических исследованиях, и их способность связывать металлы

Соединение (синонимы)	Формула и молекулярная масса	Свойства и другие данные
Анионы[a]		
Цианид CN^-		pK_a 2,4. При pH 7,0 HL. β_4 (Ni) 12,0; (Cu) 25; (Zn) 16,9. β_6 (Fe) 35; (Co) 19.
Фосфат PO_4^{3-}		pK_a 2,1; 7,2; 12,0. При pH 7,0 H_2L^-. K^{M}_{MHL} (Mg) 2,5; (Ca) 2,2; (Mn) 2,6; (Co) 2,2; (Ni) 2,1; (Cu) 3,2; (Zn) 2,4.
Пирофосфат $P_2O_7^{4-}$		pK_a 0,9; 2,0; 6,0; 9,1. При pH 7,0 HL^{3-}. K_1 (Mg) 4,7; (Ca) 5,0; (Co) 7,4; (Ni) 5,8; (Cu) 6,7. β_2 (Ni) 7,3; (Cu) 9,0; (Zn) 6,5.
Тиоцианат SCN^-		При pH 7,0 L^-. K_1 (Fe) 1,0; (Co) 1,2; (Zn) 1,6. β_3 (Ni) 1,8; (Cu) 5,2.
Тиосульфат $S_2O_3^{2-}$		При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Mg) 1,8; (Ca) 2,0; (Mn) 2,0; (Fe) 2,2; (Co) 2,1; (Ni) 2,1; (Zn) 2,4. β_2 (Cu) 12,3.
Трифосфат $P_3O_{10}^{5-}$		pK_a 5,4; 7,9. При pH 7,0 HL^{-4}. K_1 (Mg) 5,8; (Ca) 5,0; (Mn) 7,2; (Co) 8,1; (Ni) 7,9; (Cu) 9,8; (Zn) 7,6. K^{M}_{MHL} (Mg) 3,7; (Ca) 3,1; (Mn) 3,8; (Zn) 3,9.
Сульфат SO_4^{2-}		pK_a 2,0. При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Mg) 2,4; (Ca) 2,3; (Mn) 2,3; (Fe) 2,3; (Co) 2,5; (Ni) 2,4; (Cu) 2,2; (Zn) 2,3.

[a] Другие анионы: AsO_4^{3-} и CO_3^{2-} образуют гл. обр. нераств. соли с двухвалентными металлами; с Cl^- возможны о. непрочные комплексы Mn, Fe, Cu; с F^- образуются непрочные комплексы Mg, Ni, Co, Zn, но этот анион обычно дает нерастворимые соли и прочные комплексы с трех- и четырехзарядными катионами; с NO_3^- возможно образование непрочных комплексов Co, Cu.

Гидролиз ионов металлов. В водн. раств. ионы двухзарядных металлов гидрол. в соответствии со схемой: $M^{2+}_{водн} \rightleftarrows MOH^+ + H^+$ и далее $MOH^+ \rightleftarrows M(OH)_2 + H^+$, т. е. в конце концов образуется нераств. гидроксид. pK_a образования MOH^+ соответствует pH, при котором $M^{2+}_{водн}$ и MOH^+ присутствуют в равных конц. Приведем pK_a некоторых гидроксид-металлических катионов (указан лишь металл): Mg 11,4; Ca 12,6; Mn 10,6; Fe(II) 6,7; Fe(III) 2,5; Co 8,9; Ni 9,9; Cu 8,0; Zn 9,0. Др. значения см. [Dissociation constants of inorganic acids and bases, D.D. Perrin, Butterworths, London, 1969]. Осадок начинает образовываться при pH на 2–3 единицы ниже pK_a.

Соединение	Некоторые характеристики
Аминокислоты и родственные соединения	
α-Аланин	pK_a 2,34; 9,87. При pH 7,0 HL. K_1 (Mg) 2,0; (Ca) 1,2; (Mn) 3,1; (Co) 4,4; (Ni) 5,5; (Cu) 8,2; (Zn) 4,6. β_2 (Mn) 6,1; (Fe) 7,3; (Co) 7,9; (Ni) 10,0; (Cu) 15,0; (Zn) 8,6.
β-Аланин	pK_a 3,56; 10,22. При pH 7,0 HL. K_1 (Mn) 2,1; (Co) 3,6; (Ni) 4,7; (Cu) 7,1; (Zn) 4,1. β_2 (Fe) 4,0; (Co) 6,1; (Ni) 8,1; (Cu) 12,6; (Zn) 7,2.
α-Аминомасляная кислота	pK_a 2,23; 9,63. При pH 7,0 HL. K_1 (Fe) 3,4; (Co) 4,3; (Ni) 5,5; (Cu) 8,2; (Zn) 4,5. β_2 (Co) 7,6; (Ni) 9,8; (Cu) 14,7; (Zn) 8,7.
Аргинин	pK_a 2,17; 9,36; (12, 48). При pH 7,0 H_2L^+. K_1 (Mg) 1,3; (Ca) 2,2; (Mn) 2,6; (Fe) 3,2; (Co) 4,0; (Ni) 5,2; (Cu) 7,9; (Zn) 4,1. β_2 (Co) 7,2; (Ni) 9,5; (Cu) 14,6; (Zn) 8,1. β_3 (Co) 9,2.
Аспарагин	pK_a 2,16; 8,75. При pH 7,0 HL. K_1 (Co) 4,6; (Cu) 7,9. β_2 (Mg) 4,0; (Mn) 4,5; (Fe) 6,5; (Co) 8,3; (Ni) 10,6; (Cu) 14,4; (Zn) 8,7. β_3 (Co) 10,0.
Аспарагиновая кислота	pK_a 1,94; 3,70; 9,62. При pH 7,0 HL^-. K_1 (Mg) 2,4; (Ca) 1,6; (Mn) 3,7; (Co) 5,9; (Ni) 6,7; (Cu) 8,6; (Zn) 5,8. β_2 (Fe) 8,5; (Co) 10,2; (Ni) 12,0; (Cu) 15,4; (Zn) 10,2.
Валин	pK_a 2,3; 9,7. При pH 7,0 HL. K_1 (Mn) 2,8; (Co) 4,6; (Ni) 5,3; (Cu) 8,1; (Zn) 5,0. β_2 (Mn) 5,6; (Fe) 6,8; (Co) 8,4.
Глицилглицин	pK_a 2,91; 8,22. При pH 7,0 HL. K_1 (Mg) 1,1; (Ca) 1,2; (Mn) 2,2; (Co) 2,9; (Ni) 4,1; (Cu) 5,6; (Zn) 3,5. β_2 (Co) 5,2; (Ni) 7,2; (Cu) 11,0; (Zn) 6,4.
Глицин	pK_a 2,43; 9,63. При pH 7,0 HL. K_1 (Mg) 1,3; (Ca) 1,4; (Mn) 2,9; (Fe) 4,1; (Co) 4,6; (Ni) 5,7; (Cu) 8,1; (Zn) 5,0. β_2 (Mn) 5,5; (Fe) 7,7; (Co) 8,5; (Ni) 10,5; (Cu) 15,2; (Zn) 9,2. β_3 (Co) 10,8.
Гистамин	pK_a 6,10; 9,8. При pH 7,0 HL^+. K_1 (Mn) 3,0; (Co) 5,2; (Ni) 6,8; (Cu) 9,6; (Zn) 5,7. β_2 (Co) 8,7, (Ni) 11,7; Cu 16,2; (Zn) 8,7. β_3 (Co) 10,0; (Ni) 14,9.
Гистидин	pK_a 1,82; 6,05; 9,17. При pH 7,0 HL. K_1 (Mn) 3,4; (Co) 6,8; (Ni) 8,9; (Cu) 10,2; (Zn) 6,7. β_2 (Mn) 5,8; (Fe) 9,3; (Co) 13,9; (Ni) 15,9; (Cu) 18,3; (Zn) 11,8.
Глутаминовая кислота	pK_a 2,30; 4,28; 9,67. При pH 7,0 HL^-. K_1 (Mg) 1,9; (Ca) 1,4; (Mn) 3,3; (Fe) 4,6; (Co) 4,5; (Ni) 5,9; (Cu) 7,9; (Zn) 5,5. β_2 Co 8,1; (Ni) 10,3; (Cu) 14,6; (Zn) 9,5.
Имидазол	pK_a 7,1. При pH 7,0 HL^+. K_1 (Ca) 0,1; (Mn) 1,6; (Fe) 3,3; (Co) 2,4; (Ni) 2,9; (Cu) 4,2; (Zn) 2,0. β_2 (Mn) 2,9; (Fe) 6,4; (Co) 4,4; (Ni) 5,4; (Cu) 7,7; (Zn) 4,2. β_3 (Co) 6,0; (Ni) 7,3; (Cu) 10,1; (Zn) 6,6. β_4 (Co) 7,2; (Ni) 8,7; (Cu) 12,5; (Zn) 9,5.
Лейцин	pK_a 2,36; 9,60. При pH 7,0 HL. K_1 (Mn) 2,8; (Fe) 3,4; (Co) 4,6; (Ni) 5,6; (Cu) 7,9; (Zn) 4,9. β_2 (Mn) 5,5; (Co) 8,3; (Ni) 10,2; (Cu) 14,3; (Zn) 8,9.
Лизин	pK_a 2,18, 9,18; 10,72. При pH 7,0 H_2L^+: K_1 (Mn) 2; (Fe) 4,5; (Co) 3,6; (Ni) 5,5; (Cu) 7,6. β_2 (Co) 6,8; (Ni) 8,8; (Cu) 13,7; (Zn) 7,6.
Метионин	pK_a 2,20; 9,10. При pH 7,0 HL. K_1 (Mn) 2,8; (Co) 4,4; (Ni) 5,2; (Cu) 8,0; (Zn) 4,4. β_2 (Mn) 4,8; (Fe) 6,7; (Co) 7,9; (Ni) 9,8; (Cu) 14,8; (Zn) 8,5.
Норлейцин	pK_a 2,25; 9,70. При pH 7,0 HL. K_1 (Ni) 5,4. β_2 (Mg) 4; (Mn) 5; (Fe) 8,6; (Co) 9,4; (Ni) 9,9; (Cu) 15,4; (Zn) 10,4.

Соединение	Некоторые характеристики
Орнитин	pK_a 1,96; 8,65; 10,7. При pH H_2L^+. K_1 (Mn) 2; (Fe) 5,0; (Co) 4,0; (Ni) 4,9; (Cu) 6,9; (Zn) 4,1. β_2 (Co) 6,9; (Ni) 8,5; (Cu) 12,5; (Zn) 7,3.
Пролин	pK_a 1,93; 10,68. При pH 7,0 HL. K_1 (Mn) 2,8; (Co) 5,0; (Ni) 6,2; (Cu) 8,9; (Zn) 5,1. β_2 (Mg) 4; (Mn) 5,5; (Fe) 8,3; (Co) 9,3; (Ni) 11,3; (Cu) 16,8; (Zn) 9,7.
Серин	pK_a 2,15; 9,60. При pH 7,0 HL. K_1 (Ca) 1,4; (Mn) 3,9; (Co) 4,5; (Ni) 5,4; (Cu) 7,9; (Zn) 4,7. β_2 (Mn) 6,3; (Fe) 7,0; (Co) 8,0; (Ni) 9,8; (Cu) 14,5; (Zn) 8,7.
Тирозин	pK_a 2,20; 9,19, 10,4. При pH 7,0 H_2L. K^{M}_{MHL} (Mg) 2; (Ca) 1,5; (Mn) 2,4; (Co) 4,0; (Ni) 5,1; (Cu) 7,9; (Zn) 4,2. $K^{M}_{M(HL)_2}$ (Fe) 7,1; (Co) 7,8; (Ni) 9,6; (Cu) 14,8; (Zn) 8,3
Триптофан	pK_a 2,38, 9,39. При pH 7,0 HL. K_1 (Mn) 2,9; (Fe) 2,9; (Co) 4,6; (Ni) 5,7; (Cu) 8,3; (Zn) 5,2. β_2 (Mg) 4; (Mn) 5; (Fe) 7,6; (Co) 8,5; (Ni) 10,2; (Cu) 15,9; (Zn) 9,3.
Фенилаланин	pK_a 1,85; 9,13. При pH 7,0 HL. K_1 (Mn) 2,4; (Fe) 3,7; (Co) 4,1; (Ni) 5,6; (Cu) 8,3; (Zn) 4,4. β_2 (Fe) 6,3; (Co) 7,9; (Ni) 10,2; (Cu) 14,7; (Zn) 8,4.
Цистеин	pK_a 1,96; 8,48; 10,55. При pH 7,0 H_2L. K_1 (Mg) <4; (Mn) 4,6; (Fe) 6,2; (Co) 9,3; (Ni) 9,8; (Zn) 9,2. β_2 (Fe) 11,8; (Co) 16,9; (Ni) 20,2; (Zn) 18,2.
Цвиттерионные буферы	
N-(2-Ацетамидо)-2-аминоэтансульфоновая кислота (ACES)	pK_a 6,88. При pH 7,0 L^-. K_1 (Ca) 0,4; (Mn) 0,4; (Zn) 4,6
N-(2-Ацетамидо)иминодиуксусная кислота (ADA)[a]	pK_a 6,52. При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Ca) 2,5; (Mn) 4,0; (Fe) 4,9; (Zn) 9,7.
2-(N-Морфолино)этансульфоновая кислота (MES)[a]	pK_a 6,15. При pH 7,0 L^-. K_1 (Ca) 0,8; (Mn) 0,7; (Fe) 0,7.
Трис(гидроксиметил)метиламин (трис; tris)	pK_a 8,09. При pH 7,0 HL^+. K_1 (Cu) 2,6; (Zn) 4,0. β_2 (Cu) 4,5; (Zn) 7,6. β_3 (Zn) 11,0.
N-Трис(гидроксиметил)метилглицин (трицин; tricine)[a]	pK_a 8,15. При pH 7,0 HL. K_1 (Ca) 1,2; (Mn) 2,4; (Fe) 2,7; (Zn) 7,3.
Карбоновые кислоты	
Винная кислота	pK_a 2,88; 3,94. При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Mg) 1,4; (Ca) 1,8; (Fe) 2,2; (Co) 2,4; (Ni) 3,1; (Cu) 3,4; (Zn) 2,7. β_2 Fe 5,0; (Ni) 5,4; (Cu) 5,8. K_1 (Fe^{III}) 5,7. β_2 (Fe^{III}) 10,5.
Глюконовая кислота	pK_a 3,56. При pH 7,0 L^-. K_1 (Mg) 0,7; (Ca) 1,2; (Cu) 1,8; (Zn) 1,7.
Лимонная кислота	pK_a 3,1; 4,7; 6,4. При pH 7,0 L^{3-}. K_1 (Mg) 3,6; (Ca) 3,6; (Mn) 3,7; (Fe) 4,4; (Co) 5,0; (Ni) 5,4; (Cu) 5,9; (Zn) 5,0. K^{M}_{MHL} (Mg) 1,8; (Ca) 2,1; (Mn) 2,1; (Fe) 2,7; (Co) 3,0; (Ni) 3,3; (Cu) 3,4; (Zn) 3,0. $K^{M}_{MH_2L}$ (Ca) 1,2; (Co) 1,3; (Ni) 1,8; (Cu) 2,3; (Zn) 1,3.

[a] «Хороший» буфер; см. ADA, HEPES, MES и т. д. [Biochem. **5**, 467 (1966)]. Связывание Mg, Ca и Mn с PIPES, холаминхлоридом, BES, TES и HEPES незначительно, как и связывание Cu с HEPES, холаминхлоридом и PIPES. Для Cu + BES lg K_1 3,5, для Cu + TES 3,2.

Соединение	Некоторые характеристики
Малеиновая кислота	pK_a 1,92; 6,22. При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Ca) 2,4; (Mn) 1,7; (Ni) 2,0; (Cu) 3,9; (Zn) 2,0.
Малоновая кислота	pK_a 2,62; 5,30. При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Mg) 2,1; (Ca) 1,5; (Mn) 3,3; (Co) 3,0; (Ni) 3,3; (Cu) 5,0; (Zn) 3,0. β_2 (Fe) 2,2; (Co) 4,4; (Ni) 4,9; (Cu) 7,7; (Zn) 4,5.
Молочная кислота	pK_a 3,77. При pH 7,0 L^-. K_1 (Mg) 0,9; (Ca) 1,1; (Mn) 0,9; (Co) 1,4; (Ni) 1,6; (Cu) 2,6; (Zn) 1,6. β_2 (Mg) 1,3; (Ca) 1,2; (Mn) 1,4; (Co) 2,3; (Ni) 2,7; (Cu) 3,9; (Zn) 2,8.
Муравьиная кислота	pK_a 3,77. При pH 7,0 L^-. K_1 (Mg) 1,4; (Ca) 1,4; (Mn) 0,8; (Cu) 2,0.
Пировиноградная кислота	pK_a 2,5. При pH 7,0 L^-. K_1 (Ca) 0,8; (Mn) 1,3; (Ni) 1,2; (Cu) 2,2; (Zn) 1,3.
Пропионовая кислота	pK_a 4,7. При pH 7,0 L^-. K_1 (Mg) 0,5; (Ca) 0,5; (Co) 0,8; (Cu) 2,2; (Zn) 1,0.
Уксусная кислота	pK_a 4,64. При pH 7,0 L^-. K_1 (Mg) 0,5; (Ca) 0,5; (Mn) 1,2; (Fe) 1,4; (Co) 1,5; (Ni) 0,7; (Cu) 1,6; (Zn) 1,3. β_2 (Co) 1,9; (Ni) 1,3; (Cu) 2,7; (Zn) 2,1.
Фумаровая кислота	pK_a 3,02; 4,39. При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Ca) 2,0; (Mn) 1,0; (Cu) 2,5.
Щавелевая кислота	pK_a 1,14; 3.85. При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Mg) 2,6; (Ca) 3; (Mn) 3,9; (Fe) 4,7; (Co) 4,7; (Ni) 5,3; (Cu) 4,4; (Zn) 4,9. β_2 (Mg) 4,4; (Mn) 5,3; (Fe) 9,2; (Co) 6,7; (Ni) 12,9; (Cu) 8,5; (Zn) 7,4. β_3 (Fe) 14,4; (Ni) 14,0; (Zn) 8,2.
Яблочная кислота	pK_a 3,23; 4,77. При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Mg) 1,6; (Ca) 1,9; (Mn) 2,2; (Co) 2,0; (Cu) 3,4; (Zn) 2,8. K^{M}_{MHL} (Mg) 1,7; (Ca) 2,0; (Co) 2,9; (Ni) 3,2; (Cu) 3,4; (Zn) 2,9.
Янтарная кислота	pK_a 3,90; 5,19. При pH 7,0 L^{2-}. K_1 (Mg) 1,2; (Ca) 1,2; (Co) 1,7; (Cu) 2,9; (Zn) 1,8. K^{M}_{MHL} (Ca) 0,5; (Co) 1,0; (Cu) 1,7; (Zn) 1,0.
Разные соединения, представляющие биологический интерес	
Аденин	pK_a 4,18; 9,7. При pH 7,0 HL. K_1 (Mg) 3,1; (Ca) 3,0; (Mn) 3,4; (Co) 8,1; (Ni) 8,3; (Cu) 8,5; (Zn) 8,2. β_2 (Cu) 13,5.
Ауреомицин	pK_a 3,3; 7,44; 9,27. При pH 7,0 H_2L. K_1 (Mn) 4,3; (Fe) 5,7; (Co) 4,8; (Cu) 7,6; (Zn) 4,5. β_2 (Fe) 10,4; (Cu) 12,6.
Гипоксантин	pK_a 1,98; 8,94; 12,1. При pH 7,0 HL. K_1 (Mg) 6,7; (Ca) 6,5; (Mn) 6,9; (Co) 7,1; (Ni) 7,2; (Cu) 7,5; (Zn) 7,1. K^{M}_{MHL} (Mn) 2,4; (Fe) 3,9; (Co) 3,8; (Ni) 4,7; (Cu) 1,9.
Глюкозо-1-фосфат	pK_a 1,11; 6.13. При pH 7,0 HL^{2-}. K_1 (Ca) 2,5; (Mn) 2,3.
Глюкозо-6-фосфат	pK_a 0,94; 6,11. При pH 7,0 HL^{2-}. K_1 (Mn) 2,3.
Гуанозин	pK_a 2,2; 9,3. При pH 7,0 HL. K_1 (Fe) 4,8; (Co) 3,2; (Ni) 3,8; (Cu) 6,0; (Zn) 4,6. K^{M}_{MHL} (Cu) 2,2.
Инозин	pK_a 1,2; 8,8. При pH 7,0. HL. K_1 (Fe) 3,0; (Co) 2,6; (Ni) 3,3; (Cu) 5,0.
Ксантозин	pK_a 2,5; 5,67. При pH 7,0 L^-. K_1 (Fe) 2; (Co) 2,8; (Ni) 3,0; (Cu) 3,4; (Zn) 2,4.
Пиридин	pK_a 5,45. При pH 7,0 L. K_1 (Mn) 0,1; (Fe) 0,7; (Co) 1,1; (Ni) 1,9; (Cu) 2,5; (Zn) 1,4. β_2 Fe 1,0; (Co) 1,8; (Ni) 3,1; (Cu) 4,4; (Zn) 1,1.
Пиридоксамин	pK_a 3,37; 8,0; 10,1. При pH 7,0 H_2L^{2+}. K_1 (Mn) 3,6; (Co) 5,1; (Ni) 6,0; (Cu) 10,2; (Zn) 5,7. β_2 (Co) 9,6; (Ni) 10,9; (Cu) 16,0.

Соединение	Некоторые характеристики
Птероилглутаминовая кислота (фолиевая кислота)	pK_a 8,26. При pH 7,0 HL^{2-}. β_2 (Mn) 6; (Fe) 7,9; (Co) 8,1; (Ni) 9,0; (Cu) 7,8; (Zn) 7,5.
Рибофлавин	pK_a 3,6; 9,5. При pH 7,0 HL. K_1 (Mn) 3,7; (Fe) 7,1; (Co) 4,1; (Ni) 4,2; (Cu) 6,5; (Zn) 4,2. K^{M}_{MHL} (Mn) 3,2; (Co) 3,5; (Ni) 3,5; (Cu) 3,7; (Zn) 3,7.
Террамицин	pK_a 3,10; 7,26; 9,1. При pH 7,0 H_2L. K_1 (Mg) 3,8; (Mn) 4,3; (Fe) 5,6; (Co) 5,1; (Ni) 5,8; (Cu) 7,2; (Zn) 4,6. β_2 (Mn) 8,0; (Fe) 10,4; (Ni) 10,6; (Cu) 12,2.
Флавинадениндинуклеотид (ФАД; FAD)	$K_{каж}$ (pH 8,2) (Mg) 2,0; (Ca) 2,0; (Mn) 2,4; (Co) 2,4.
Флавинмононуклеотид (ФМН, FMN)	$K_{каж}$ (pH 8,2) (Mg) 2,1; (Ca) 2,1; (Mn) 2,2; (Co) 2,4.
Фосфоаргинин	pK_a <2; 2,0; 4,5; 9,6; 11,2. При pH 7,0 HL^{3-}. K^{M}_{MHL} (Mg) 2,0.
2-Фосфоглицериновая кислота	K_1 (Mg) 2,4; (Mn) 3,1; (Co) 3,0; (Ni) 2,9; (Zn) 3,4.
Фосфоенолпировиноградная кислота	K_1 (Mg) 2,3; (Mn) 2,7; (Co) 3,5; (Ni) 2,3; (Zn) 3,0.
Фосфокреатин	pK_a 2; 2,7; 4,5. При pH 7,0 HL^{3-}. K^{M}_{MHL} (Mg) 1,6; (Ca) 1,3; (Mn) 2,0.

B. Нуклеотидные комплексы металлов

В раздел включена подробная информация для комплексов щелочных металлов, Mg^{2+}, Ca^{2+} и Mn^{2+} с ADP и ATP. В литературе существуют значительные расхождения в приводимых здесь данных [The enzymes, vol. 2. p. 3, Academic Press, New York, 1960]; при цитировании данных за основу приняты данные Бартона [BJ **71**, 388 (1959)] и О' Салливана и Пиррина [BBA **52**, 612 (1961); Biochem. **3**, 18 (1964)]. (См. [The enzymes, vol. 6, p. 515, Academic Press, New York, 1962].) Для кажущихся констант устойчивости приведены pH. pK_a ATP 6,53 и 4,06; ADP 6,44 и 3,93 (25°C и 0,1 M KNO_3), т. е. лиганды при pH 8 полностью ионизованы.

Другие нуклеотидные комплексы металлов. Как правило, замена рибозы на дезоксирибозу или изменение природы пуринового или пиримидинового основания лишь незначительно влияет на константу устойчивости [The enzymes, vol. 2, p. 3, Academic Press, New York 1960; Biochemistry **3**, 18 (1964); Acta Chem. Scand. **12**, 528 (1958)]. Таким образом, приведенные данные можно распространить и на комплексы других нуклеотидов с Mg^{2+} и Ca^{2+} и, возможно, Mn^{2+}.

В литературе опубликованы также константы устойчивости (lg K) комплексов с другими металлами: $Co(ATP)^{-}$ 4,62; $Co(ADP)^{-}$ 3,68 [Acta Chem. Scand. **12**, 528 (1958)]; $Sr(ATP)^{2-}$ 3,03; $Sr(ADP)^{-}$ 2,50 [JACS **78**, 2376 (1956)]; $Co(ATP)^{2-}$ 4,71; $Ni(ATP)^{2-}$ 4,54; $Zn(ATP)^{2-}$ 4,80; $Cu(ATP)^{2-}$ 5,77 [Helv. Chim. Acta **44**, 935 (1961)].

Оценены также константы устойчивости (lg K) комплексов металлов с ДНК и РНК ($\mu = 0{,}15$, pH 7,2, 0,11 M Na-барбитал): Mg(ДНК) 2,10; Ca(ДНК) 2,10; Mn(ДНК) 2,44; Mg(РНК) 2,32; Ca(РНК) 2,32 [ABB **72**, 66 (1957)].

Комплекс	Условия	lg K	Литература
$Mg(ADP)^{-}$	0,085 M трибутилэтиламмонийбромид + + 0,05 M триэтаноламин; pH 7,9; 25°C	3,34	BJ **71**, 388 (1959)
	0,1 M N-этилморфолин; pH 8,0; 30°C	3,60	Biochem. **3**, 18 (1964)
	0,1 M тетрабутиламмонийбромид; 25°C (K^{M}_{MHL} 1,82)	3,44	JACS **88**, 2631 (1966)
	0,1 M KNO_3; 25°C (K^{M}_{MHL} 1,64)	3,17	JACS **89**, 5585 (1967)

Комплекс	Условия	lg K	Литература
$Ca(ADP)^-$	0,085 М трибутилэтиламмоний бромид + + 0,05 М триэтаноламин; pH 7,9; 25°C	2,89	BJ **71**, 388 (1959)
	0,1 М N-этилморфолин; pH 8,0; 30°C	3,34	Biochem. **3**, 18 (1964)
	0,1 М KNO_3; 25°C (K^M_{MHL} 1,60)	2,86	JACS **89**, 5585 (1967)
$Na(ADP)^{2-}$	0,2 М тетраэтиламмонийбромид; 25°C	0,65	The enzymes, vol. 6, p. 515, Academic Press, New York, 1962; JBC **208**, 615 (1954)
$K(ADP)^{2-}$	0,2 М тетраэтиламмонийбромид; 25°C	0,68	The enzymes, vol. 6, p, 515, Academic Press, New York 1962; JBC **208**, 615 (1954)
$Mn(ADP)^-$	0,1 М тетраметиламмонийхлорид + + 0,05 М трис; pH 7,5	4,00	Nature, London. **193**, 1037 (1962)
	0,1 М N-этилморфолин; pH 8,0; 30°C	4,40	Biochem. **3**, 18 (1964)
	0,05 М KNO_3 + 0,05 М трис; pH 7,05; 38°C	3,89	ABB **92**, 94 (1961)
	0,1 М KNO_3; 25°C (K^M_{MHL} 1,89)	4,16	JACS **89**, 5585 (1967)
$Zn(ADP)^-$	0,1 М KCl; 25°C (K^M_{MHL} 2,34)	4,13	Z. physiol. Chem. **313**, 212 (1958)
	0,1 М KNO_3; 25°C (K^M_{MHL} 2,04)	4,28	JACS **89**, 5585 (1967)
$Mg(ATP)^{2-}$	0,11 М трибутилэтиламмониевая соль; 25°C; pH 8,4	4,58	BJ **71**, 388 (1959)
	0,1 М трис; 30°C; pH 8,0	4,30	BBA **52**, 612 (1961)
	0,1 М триэтаноламин; 30°C; pH 8,0	4,80	Biochem. **3**, 18 (1964)
	0,1 М тетрабутиламмонийбромид; 25°C (K^M_{MHL} 2,9)	4,63	JACS **88**, 2631 (1966)
	0,1 М KNO_3; 25°C (K^M_{MHL} 2,29)	4,22	JACS **88**, 668 (1966)
$Ca(ATP)^{2-}$	0,1 М трибутилэтиламмониевая соль; 25°C; pH 8,0	4,45	BJ **71**, 388 (1959)
	0,1 М N-этилморфолин; 30°C; pH 8,0	4,40	Biochem. **3**, 18 (1964)
	0,165 М Na^+; pH 7,4, 37°C	3,82	Biochem. **3**, 18 (1964); BJ **71**, 388 (1959)
	0,1 М KNO_3; 25°C (K^M_{MHL} = 2,13)	3,97	JACS **88**, 668 (1966)
$Na(ATP)^{3-}$	0,1 М N-этилморфолин; 30°C; pH 8,0	1,18	Biochem. **3**, 18 (1964)
	0,2 М тетраметиламмониевая соль; 25°C	1,0	The enzymes, vol. 6, p. 515, Academic Press, New York, 1962; JBC **208**, 615 (1954)
$K(ATP)^{3-}$	0,1 М N-этилморфолин; 30°C; pH 8,0	1,15	Biochem. **3**, 18 (1964)
	0,2 М тетраметиламмониевая соль; 25°C	1,0	The enzymes, vol. 6, p. 515, Academic Press, New York, 1962; JBC **208**, 615 (1954)
$Mn(ATP)^{2-}$	0,1 М тетраэтиламмонийхлорид + 0,05 М трис; pH 8,0	4,88	Nature, London **193**, 1037 (1962)
	0,05 М N-этилморфолин; 25°C; pH 7,5	5,0	JBC **241**, 3104 (1966)
	0,1 М тетраметиламмонийбромид; 30°C (K^M_{MHL} 2,62)	5,19	BBA **127**, 35 (1966)
	0,1 М KNO_3; 25°C (K^M_{MHL} 2,39)	4,78	JACS **88**, 668 (1966)
$Zn(ATP)^{2-}$	0,1 М тетраметиламмонийбромид; 30°C (K^M_{MHL} 2,91)	5,52	BBA **127**, 35 (1966)
	0,1 М KNO_3; 25°C (K^M_{MHL} 2,67)	4,85	JACS **88**, 668 (1966)
	0,1 М $NaClO_4$, 25°C	5,21	BBA **148**, 655 (1967)

Константы устойчивости нуклеотидных комплексов магния и некоторых других металлов

Лиганд	pK_a	Константа устойчивости (lg)
AMP	3,80; 6,23	K_1 (Mg) 1,8; (Ca) 1,8; (Mn) 2,4; (Co) 2,5; (Ni) 2,6; (Cu) 3,2; (Zn) 2,7
CMP	4,35; 6,35	K_1 (Mg) 1,8; (Ni) 1,9; (Zn) 2,5
CDP	4,56; 6,38	K_1 (Mg) 3,2; (Ni) 3,5. K^{M}_{MHL} (Ni) 1,9. K^{MM}_{MHL} (Mg) 1,6
CTP		K_1 (Mg) 2,0
IDP		K_1 (Mg) 2,4. K^{M}_{MHL} (Mg) 3,8
ITP	6,9	K_1 (Mg) 3,3; (Ca) 3,4; (Mn) 4,5; (Co) 5,0; (Ni) 5,1; (Cu) 5,8; (Zn) 4,6. K^{M}_{MHL} (Mg) 2,4
GDP		K_1 (Mg) 3,4
GMP	6,5	K_1 (Mg) 1,8
UMP		K_1 (Mg) 1,7
UDP		K (Mg) 3,5

18. pH, буферные системы и физиологические среды

Стандартизация и измерения pH

КОНСТАНТЫ ДИССОЦИАЦИИ КИСЛОТ И ОСНОВАНИЙ

Для диссоциации кислоты

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$$

термодинамическая константа диссоциации K_a определяется следующим образом:

$$K_a = \frac{a_{H^+} \cdot a_{A^-}}{a_{HA}} = \frac{c_{H^+} \cdot c_{A^-}}{c_{HA}} \cdot \frac{f_{H^+} \cdot f_{A^-}}{f_{HA}}$$

$$pK_a = -\lg K_a$$

где a – активность частицы в растворе, c – ее концентрация и f – коэффициент активности (конкретная частица указана в индексе).

Для диссоциации основания

$$BH^+ \rightleftharpoons B + H^+$$

$$K_a = \frac{a_{H^+} \cdot a_B}{a_{BH^+}}$$

Если коэффициентами активности можно пренебречь, получим формулу для классической или стехиометрической, константы диссоциации K_c (в биохимической литературе часто обозначается K_a):

$$K_c = \frac{c_{H^+} \cdot c_{A^-}}{c_{HA}} = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

где в квадратных скобках указаны концентрации соответствующих частиц.

В биохимической литературе не всегда четко проводится разграничение между термодинамической константой диссоциации, величину которой можно получить путем экстраполяции K_c к нулевому значению ионной силы ($I = 0$), и «экспериментальными» (кажущимися) значениями константы диссоциации, рассчитанными для данных экспериментальных условий (прежде всего для данной ионной силы). Поэтому, как правило, следует приводить условия измерения константы диссоциации, в частности ионную силу раствора. Отметим, что «практические» значения констант могут существенно (в некоторых случаях в 3 раза, т.е. 0,5 единицы pK) отличаться от термодинамических констант диссоциации.

ИЗМЕРЕНИЕ pH. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Имеется в виду, что измерения проводятся с помощью обычных (продажных) pH-метров со стеклянными электродами.

Градуировка. Для градуировки pH-метра необходимы по крайней мере два стандартных буферных раствора.

Температура. Измерения pH стандартных растворов при градуировке pH-метра и растворов с неизвестным pH должны выполняться при одинаковой температуре. Это требование не снимается и при использовании «температурного» компенсатора pH-метра, с помощью которого, как правило, компенсируется только изменение коэффициента наклона (отношение pH: э.д.с.) и лишь иногда сдвиг нулевой точки.

СВОЙСТВА БУФЕРНЫХ РАСТВОРОВ. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Буферная емкость (рабочая область буфера). Ниже, где это возможно, приведены буферные емкости по ван Слайку; $\beta = db/d\text{pH}$ (db – количество в эквивалентах (инкремент) сильного основания, добавленное к 1 л буферного раствора). Количество (инкремент) сильной кислоты равно инкременту сильного основания с обратным знаком $-db$; добавление кислоты вызывает уменьшение pH. Следовательно, $db/d\text{pH}$ – всегда положительная величина.

Если для буфера не приведена его емкость, она может быть найдена из экспериментальных данных, а также вычислена теоретически. Для систем, содержащих слабую кислоту:

$$\beta = \frac{db}{d\text{pH}} \approx 2{,}303\left(\frac{cKc_{\text{H}}}{(K + c_{\text{H}})^2} + c_{\text{H}} + c_{\text{OH}}\right)$$

где c – общая молярная концентрация слабой кислоты HA и ее соли MA; K – константа диссоциации HA, c_{H} и c_{OH} – концентрации H_3O^+ и OH^-.

При pH 3 ÷ 11 буферная емкость определяется практически полностью первым слагаемым в скобках. Максимальный буферный эффект для концентрации c достигается при $c_{\text{H}} = K$ (pH ≈ pK), т.е. когда HA и MA присутствуют в эквивалентных количествах. Тогда истинная буферная емкость β_{max}:

$$\beta_{max} = \frac{2{,}303}{4}c$$

(на практике ионные взаимодействия в растворе ограничивают буферную емкость $\beta \approx 0{,}2$).

Если отношение между [HA] и [MA] увеличивается или уменьшается в 10 раз: [HA] : [MA] = 10 : 1 или 1 : 10, то pH ≈ pK + 1 и pK − 1. При этом буферная емкость составляет $\sim {}^1/_3\,\beta_{max}$. При pH от p$K$ − 1 до pK + 1 буферная емкость довольно значительна, но за пределами этого диапазона pH емкость буфера очень сильно уменьшается. Следовательно, рабочая область буфера ограничена ±1 ед. pH относительно pK слабой кислоты.

Такие же рассуждения применимы к системам из слабого основания B и сопряженной с ним кислоты BH^+; пусть K_{bh} – константа диссоциации BH^+; $pK_{bh} = pK_w - pK_b$.

Водные растворы сильных кислот и оснований обычно не рассматриваются как буферные системы, однако они также проявляют буферные свойства при $\sim 2{,}4 > \text{pH} > \sim 11{,}6$ ($db/d\text{pH}$) ≈ ≈ 2,303 ($c_{\text{H}} + c_{\text{OH}}$).

Разбавление $\Delta\text{pH}_{1/2}$ представляет собой изменение pH, которое претерпевает раствор с первоначальной концентрацией c при разбавлении равным объемом чистой воды:

$$\Delta\text{pH}_{1/2} = (\text{pH})_{c_i/2} - (\text{pH})_{c_i}$$

Эта величина положительна, если pH раствора увеличивается, и отрицательна, если pH уменьшается.

Разбавление $\Delta\text{pH}_{1/2}$ для эквимоляльных буферных растворов аминов (pH 4,5 ÷ 9,5)

[*Bates*, Ann. N.J. Acad. Sci. **92**, 341 (1961)]

m, моль/кг	0,0025	0,005	0,01	0,02	0,025	0,05	0,1
$\Delta\text{pH}_{1/2}$, ед. pH	−0,007	−0,010	−0,013	−0,017	−0,019	−0,023	−0,028

Солевой эффект. При добавлении нейтральной соли к буферному раствору его pH меняется. Из рассмотрения равновесий в данной буферной системе можно качественно оценить ожидаемый эффект. Ниже приведены количественные данные для некоторых буферных растворов.

Солевой эффект при добавлении нейтральной соли (0,1 М) к типичным буферным системам

[*Bates*, Determination of pH: theory and practice, 2nd edn. Wiley, New York, 1973]

Буферная система	ΔpH	Буферная система	ΔpH
0,005 М HCl	+0,10	0,005 М NH_3	0
0,005 М NaOH	−0,10	0,005 М CH_3COOH − 0,005 М CH_3COONa	−0,10
0,005 М CH_3COOH	0	0,005 М NH_3 − 0,005 М NH_4Cl	+0,10

Солевой эффект при добавлении нейтральной соли к трем стандартным буферным растворам

[*Bates*, Determination of pH: theory and practice, 2nd edn. Wiley, New York, 1973]

Буферная система (+ нейтральная соль)	ΔpH (0,02 М соль)	ΔpH (0,05 М соль)
0,05 М KH-фталат (+KCl)	−0,019	−0,044
0,025 М KH_2PO_4 + 0,025 М Na_2HPO_4 (+NaCl)	−0,022	−0,051
0,01 М $Na_2B_4O_7$ (+NaCl)	−0,014	−0,035

Солевой эффект (в ед. pH) для буферных растворов на основе аминов при 25°C

[*Bates*, Ann. N. Y. Acad. Sci. **92**, 341 (1961)]

Содержание амина m, моль/кг	ΔpH при различных ΔI[a]			
	0,01	0,02	0,05	0,1
0,01	+0,016	+0,027	+0,049	+0,070
0,02	+0,011	+0,020	+0,039	+0,058
0,05	+0,006	+0,012	+0,024	+0,039
0,1	+0,003	+0,007	+0,015	+0,025

[a] Для солей типа 1:1 (NaCl, KNO_3) моляльная концентрация после добавления соли $m_s = \Delta I$; для солей типа 2:1 (Na_2SO_4) или 1:2 ($Ba(NO_3)_2$) $m_s = {}^1/_3\ \Delta I$.

Влияние температуры. По возможности, при приведении данных для буферных растворов указана температура или сделаны соответствующие поправки. Для разных буферных систем наблюдаются значительные различия в величинах $d\text{pH}/dt$.

Влияние ионов металлов. Бьеррум первый обнаружил корреляцию между сродством ряда близкородственных лигандов к ионам водорода и их сродством к данному иону металла. Таким образом, все буферы содержат потенциальные лиганды для комплексообразования с металлами.

Следует с особой тщательностью выбирать буферы при исследованиях комплексообразования металлов. Бытует мнение, что взаимодействие некоторых компонентов буферных систем на основе азотсодержащих соединений, например включающих N-этилморфолин, триэтаноламин и коллидин, с ионами щелочных и щелочноземельных металлов можно считать крайне незначительным (и даже с ионами переходных металлов). Однако такие буферы нельзя использовать без предварительных испытаний.

Стандартные растворы (N.B.S.) для измерения pH при 0–95°C

Bates, J. Res. Nath. Bur. Stand. **66A**, 179 (1962)].

ПЕРВИЧНЫЕ СТАНДАРТЫ

Состав и свойства пяти первичных стандартных буферов при 25°C

	Буфер				
	Тартратный	Фталатный	Фосфатный D	Фосфатный E	Боратный
Главный компонент	$KHC_4H_4O_6$	$KHC_8H_4O_4$	KH_2PO_4 (*1*) + + Na_2HPO_4 (*2*)	KH_2PO_4 (*1*) + + Na_2HPO_4 (*2*)	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Содержание главного компонента, г/л	Насыщенный раствор (25°C)	10,12	*1*–3,39 *2*–3,53	*1*–1,179 *2*–4,30	3,80
Моляльность *m* раствора, моль/кг	0,0341	0,05	*1*–0,025 *2*–0,025	*1*–0,008695 *2*–0,03043	0,01
Молярность M, моль/л	0,034	0,04958	*1*–0,02490 *2*–0,02490	*1*–0,008665 *2*–0,03032	0,009971
Плотность, г/мл	1,0036	1,0017	1,0028	1,0020	0,9996
pH (25°C)	3,557	4,008	6,865	7,413	9,180
Разбавление $\Delta pH_{1/2}$	+0,049	+0,052	+0,08	+0,07[a]	+0,01
Буферная емкость β, экв./pH	0,027	0,016	0,029	0,016	0,020
d pH (S)/*dt* (ед. pH/°C)	−0,0014	+0,0012	−0,0028	−0,0028	−0,0082

[a] Вычисленное значение.

pH (S) первичных стандартных буферов [при 0–60°C pH ±0,005; при 60–90°C pH ±0,008]

t,°C	pH буфера				
	Тартратный	Фталатный	Фосфатный D	Фосфатный E	Боратный
0		4,003	6,984	7,534	9,464
5		3,999	6,951	7,500	9,395
10		3,998	6,923	7,472	9,332
15		3,999	6,900	7,448	9,276
20		4,002	6,881	7,429	9,225
25	3,557	4,008	6,865	7,413	9,180
30	3,552	4,015	6,853	7,400	9,139
35	3,549	4,024	6,844	7,389	9,102
38	3,548	4,030	6,840	7,384	9,081
40	3,547	4,035	6,838	7,380	9,068
45	3,547	4,047	6,834	7,373	9,038
50	3,549	4,060	6,833	7,367	9,011
55	3,554	4,075	6,834		8,985
60	3,560	4,091	6,836		8,962
70	3,580	4,126	6,845		8,921
80	3,609	4,164	6,859		8,885
90	3,650	4,205	6,877		8,850
95	3,674	4,227	6,886		8,833

Приготовление стандартных буферных растворов. Состав описанных выше растворов, которые по бэйтс-гуггенхаймскому соглашению приняты в качестве стандартов (N.B.S.) pH(S),

указан в единицах моляльности (моль/кг). Ошибки в pH(S), возникающие из-за использования *x*-молярного раствора вместо *x*-моляльного, невелики для приведенных разбавленных растворов, но, если нужна точность до третьего знака после запятой, состав раствора должен быть определен более тщательно. Поэтому выше указаны также плотности этих стандартных растворов и молярная концентрация; это позволит готовить эти буферы объемными методами.

Буферные растворы следует хранить в емкостях из боросиликатного стекла (например, пирекс) или полиэтилена (чистого). Тартратный буфер может «зарастать» плесенью, что сопровождается увеличением pH, поэтому надо готовить новый раствор через каждые несколько дней; можно также добавлять к раствору тартрата несколько кристалликов тимола в качестве стабилизатора. Плесень может медленно появляться также во фталатном буфере; в фосфатных буферах может появляться осадок. Рекомендуется готовить эти буферы ежемесячно.

Из «буферных» солей только Na_2HPO_4 в значительной степени гигроскопична. Тартрат, фталат и фосфаты можно перед использованием высушивать при 110°C в течение 1–2 ч. Дигидрат тетраоксалата калия не следует сушить при температурах >60°C, а буру не следует нагревать выше комнатной температуры. Для приготовления буферных растворов следует использовать дистиллированную воду хорошего качества (удельная проводимость $<2\cdot10^{-6}$ $Ом^{-1}\cdot см^{-1}$ при 25°C).

ВТОРИЧНЫЕ СТАНДАРТЫ

Состав и свойства двух вторичных стандартных буферов при 25°C

	Буфер	
	Тетраоксалатный	Гидроксидкальциевый
Главный компонент	$KH_3(C_2O_4)_2\cdot2H_2O$	$Ca(OH)_2$
Содержание главного компонента, г/л (25°C)	12,61	Насыщенный раствор (25°C)
Моляльность *m*, моль/кг	0,05	0,0203
Молярность M, моль/л	0,04962	0,02025
Плотность, г/мл	1,0032	0,9991
pH (25°C)	1,679	12,454
Разбавление $\Delta pH_{1/2}$	+0,186	−0,28
Буферная емкость β, экв./pH	0,070	0,09
*d*pH(S)/d*t* (ед.pH/°C)	+0,001	−0,033

pH(S) вторичных стандартных буферов

t,°C	pH буфера на основе		*t*,°C	pH буфера на основе	
	тетраоксалата[a]	гидроксида кальция		тетраоксалата[a]	гидроксида кальция
0	1,666	13,423	40	1,694	11,984
5	1,668	13,207	45	1,700	11,841
10	1,670	13,003	50	1,707	11,705
15	1,672	12,810	55	1,715	11,574
20	1,675	12,627	60	1,723	11,449
25	1,679	12,454	70	1,743	
30	1,683	12,289	80	1,766	
35	1,688	12,133	90	1,792	
38	1,691	12,043	95	1,806	

[a] См. выше замечания по высушиванию дигидрата тетраоксалата калия.

pK_a веществ, используемых для приготовления буферных систем

pK_a (25°C)	Компонент буфера	$\Delta pH/\Delta t$ (ед. pH/°C)
1,27 (k_1)	Щавелевая кислота	
1,97 (k_1)	Малеиновая кислота	
2,15 (k_1)	Фосфорная кислота	
2,35 (k_1)	Глицин[a]	
2,95 (k_1)	Фталевая кислота[a]	
3,02 (k_1)	Фумаровая кислота	
3,04 (k_1)	Винная кислота	
3,13 (k_1)	Лимонная кислота[a]	
3,14 (k_1)	Глицилглицин	
3,17	Фуранкарбоновая кислота	
3,71 (k_1)	β,β′-Диметилглутаровая кислота[a]	
3,75	Муравьиная кислота	
4,04	Барбитуровая кислота	
4,20	Бензойная кислота	
4,21 (k_1)	Янтарная кислота[a]	
4,27 (k_2)	Щавелевая кислота	
4,37 (k_2)	Винная кислота	
4,38 (k_2)	Фумаровая кислота	
4,76	Уксусная кислота[a]	0,000
4,76 (k_2)	Лимонная кислота[a]	
5,05 (k_2)	Яблочная кислота	
5,41 (k_2)	Фталевая кислота[a]	
5,64 (k_2)	Янтарная кислота[a]	
6,04 (k_2)	Гистидин	
6,09	2-(N-Морфолино)этансульфоновая кислота (MES)[a]	−0,011
6,12 (k_3)	Пирофосфорная кислота	
6,24 (k_2)	Малеиновая кислота[a]	
6,27	Какодиловая кислота[a]	
6,34 (k_2)	β,β′-Диметилглутаровая кислота[a]	
6,35 (k_1)	Угольная кислота[a]	
6,39	5(4)-Гидроксиметилимидазол	
6,40 (k_3)	Лимонная кислота	
6,57	N-(2-Ацетамидо)иминодиуксусная кислота (ADA)	−0,011
6,65 (k_2)	Глицерин-2-фосфорная кислота	
6,76	Пиперазин-N,N′-бис(2-этансульфоновая кислота) (PIPES)	−0,0085
6,82 (k_2)	Фосфорная кислота[a]	−0,003
6,85 (k_1)	Этилендиамин	−0,027
6,95	Имидазол[a]	
6,98 (k_2)	Мышьяковая кислота	
7,07	N,N-бис(2-гидроксиэтил)-2-аминоэтансульфоновая кислота (BES)	−0,016
7,15	3-(N-Морфолино)пропансульфоновая кислота (MOPS)	−0,011
7,40	N-((Трисгидроксиметил)метил)-2-аминоэтансульфоновая кислота (TES)	−0,020
7,43	2,4,6-Коллидин[a]	
7,47	N-2-Гидроксиэтилпиперазин-N′-2-этансульфоновая кислота (HEPES)[a]	−0,015
7,52	5(4)-Метилимидазол	
7,67	N-Этилморфолин[a]	
7,76	Триэтаноламин	−0,020
7,95	N-2-Гидроксиэтилпиперазин-N′-3-пропансульфоновая кислота (EPPS)[a]	−0,011
7,98	Диэтилбарбитуровая кислота[a]	−0,014

pK_a (25°C)	Компонент буфера	$\Delta pH/\Delta t$ (ед. pH/°C)
8,05	N-((Трисгидроксиметил)метил)глицин (TRICINE)[a]	−0,021
8,08	Трис(гидроксиметил)аминометан[a]	−0,028
8,25	Глицилглицин	−0,026
8,26	N,N-Бис(2-гидроксиэтил)глицин (BICINE)	−0,018
8,36	2,5(4)-Диметилимидазол	
8,79	2-Амино-2-метилпропандиол-1,3[a]	−0,029
8,80	2-Амино-2-этилпропандиол-1,3	
8,88	Диэтаноламин	−0,025
8,95 (k_4)	Пирофосфорная кислота	
9,11	4-Аминопиридин	−0,028
9,21	Серин	−0,025
9,24	Борная кислота[a]	
9,25	Аммиак	−0,031
9,50	Этаноламин	−0,030
9,50	2-(Циклогексиламино)этансульфоновая кислота (ЦГЭС; CHES)	−0,011
9,54	Эфедрин	
9,66	Гидроксипролин	
9,69	2-Амино-2-метилпропанол-1	−0,032
9,74	Лейцин	
9,78	Глицин[a]	−0,026
9,80	Триметиламин	
9,87	α-Аланин	−0,027
9,93 (k_2)	Этилендиамин	−0,029
10,00	Аспарагиновая кислота	
10,24	β-Аланин	−0,028
10,33 (k_2)	Угольная кислота[a]	−0,009
10,56	γ-Аминомасляная кислота	−0,030
10,57	*н*-Пропиламин	
10,62	Метиламин	
10,63	Этиламин	
10,64	*н*-Бутиламин	
10,72	Триэтиламин	
10,77	Диметиламин	
10,93 (k_2)	Гексаметилендиамин	−0,034
10,93	Диэтиламин	
11,12	Пиперидин	−0,031
12,38 (k_3)	Фосфорная кислота[a]	

[a] Состав буфера приведен далее.

pK многих других соединений приведены в соответствующих разделах при описании свойств биохимических соединений.

Приготовление буферов. Буферы готовят путем растворения этих или других подходящих соединений и добавления кислоты или щелочи. Количество кислоты или щелочи можно вычислить из уравнения Хендерсона–Хассельбаха, например для катионных буферов

$$pH = pK + \lg\frac{[\text{соль}]}{[\text{кислота}]}$$

Ниже приведены отношения [соль]/[кислота], соответствующие pH от pK − 1 до pK + 1, т. е. рабочей области буфера.

pH	[соль]/[кислота][a]	pH	[соль]/[кислота][a]
$pK - 1{,}0$	0,10	$pK + 0{,}1$	1,26
$-0{,}9$	0,13	$+0{,}2$	1,58
$-0{,}8$	0,16	$+0{,}3$	2,00
$-0{,}7$	0,20	$+0{,}4$	2,51
$-0{,}6$	0,25	$+0{,}5$	3,16
$-0{,}5$	0,32	$+0{,}6$	3,98
$-0{,}4$	0,40	$+0{,}7$	5,01
$-0{,}3$	0,50	$+0{,}8$	6,31
$-0{,}2$	0,63	$+0{,}9$	7,94
$-0{,}1$	0,79	$+1{,}0$	10,0
pK	1,0		

[a] Для катионных буферов [основание]/[соль].

Буферные растворы для pH 1 ÷ 13

Ниже приведены данные (состав, способ приготовления и pH) для буферных растворов, которые находят широкое применение в биохимии; при необходимости концентрацию и ионную силу легко можно менять, чтобы сделать их более подходящими для специальных целей. Как правило, pH этих растворов не были определены с высокой точностью (в таких случаях значения указаны с точностью до одного знака после запятой). Но в случаях, отмеченных звездочкой, pH были определены более точно (значения указаны с точностью до второго знака после запятой).

Растворы по Кларку – Лабсу, pH 1,0 ÷ 2,2*

[*Bower, Bates*, J. Res. Natn. Bur. Stand. **55**, 197 (1955)]

Состав: 25 мл 0,2 М KCl (14,919 г/л) + x мл 0,2 М HCl; разбавить H_2O до 100 мл.

pH (25°C)	HCl x, мл	Буферная емкость β	pH (25°C)	HCl x, мл	Буферная емкость β
1,00	67,0	0,31	1,70	13,0	0,060
1,10	52,8	0,24	1,80	10,2	0,049
1,20	42,5	0,19	1,90	8,1	0,037
1,30	33,6	0,16	2,00	6,5	0,030
1,40	26,6	0,13	2,10	5,1	0,026
1,50	20,7	0,10	2,20	3,9	0,022
1,60	16,2	0,077			

Буферные растворы, содержащие глицин – HCl, pH 2,2 ÷ 3,6 (25°C)

[*Sørensen*, BZ **21**, 131 (1909); *Gomori*, Meth. Enzymol. **1**, 141 (1955)]

Глицин $C_2H_5NO_2$: M 75,07.

Состав: 25 мл 0,2 М глицина (15,01 г/л) + x мл 0,2 М HCl; разбавить H_2O до 100 мл.

pH (25°C)	HCl x, мл	pH (25°C)	HCl x, мл
2,2	22,0	3,0	5,7
2,4	16,2	3,2	4,1
2,6	12,1	3,4	3,2
2,8	8,4	3,6	2,5

Растворы по Кларку–Лабсу, pH 2,2 ÷ 4,0*

[J. Res. natn. Bur. Stand. **55**, 197 (1955)]

Состав: 50 мл 0,1 М КН-фталата (20,42 г/л) + *x* мл 0,1 М HCl; разбавить H_2O до 100 мл.

pH (25°C)	HCl *x*, мл	Буферная емкость β	pH (25°C)	HCl *x*, мл	Буферная емкость β
2,20	49,5				
2,30	45,8	0,036	3,20	15,7	0,030
2,40	42,2	0,035	3,30	12,9	0,026
2,50	38,8	0,034	3,40	10,4	0,023
2,60	35,4	0,033	3,50	8,2	0,020
2,70	32,1	0,032	3,60	6,3	0,018
2,80	28,9	0,032	3,70	4,5	0,017
2,90	25,7	0,033	3,80	2,9	0,015
3,00	22,3	0,034	3,90	1,4	0,014
3,10	18,8	0,033	4,00	0,1	0,014

Буферные растворы, содержащие лимонную кислоту – Na_2HPO_4 (по Макилвэйну), pH ~2,6 ÷ 7,6

[*McIlvaine*, JBC **49**, 183 (1921)]

Моногидрат лимонной кислоты $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$: *M* 210,14; 0,1 М раствор содержит 21,01 г/л.

Na_2HPO_4: *M* 141,98; 0,2 М раствор содержит 28,40 г/л.

$Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$: *M* 178,05; 0,2 М раствор содержит 35,61 г/л.

Состав: *x* мл 0,1 М лимонной кислоты + *y* мл 0,2 М Na_2HPO_4.

pH	0,1 М лимонная кислота *x*, мл	0,2 М Na_2HPO_4 *y*, мл	pH	0,1 М лимонная кислота *x*, мл	0,2 М Na_2HPO_4 *y*, мл
2,6	89,10	10,90	5,2	46,40	53,60
2,8	84,15	15,85	5,4	44,25	55,75
3,0	79,45	20,55	5,6	42,00	58,00
3,2	75,30	24,70	5,8	39,55	60,45
3,4	71,50	28,50	6,0	36,85	63,15
3,6	67,80	32,20	6,2	33,90	66,10
3,8	64,50	35,50	6,4	30,75	69,25
4,0	61,45	38,55	6,6	27,25	72,75
4,2	58,60	41,40	6,8	22,75	77,25
4,4	55,90	44,10	7,0	17,65	82,35
4,6	53,25	46,75	7,2	13,05	86,95
4,8	50,70	49,30	7,4	9,15	90,85
5,0	48,50	51,50	7,6	6,35	93,65

Буферные растворы, содержащие лимонную кислоту – цитрат натрия, pH 3,0 ÷ 6,2

[*Hemington N., Dawson R. M. C.*, неопубликованные данные]

Моногидрат лимонной кислоты $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$: *M* 210,14; 0,1 М раствор содержит 21,01 г/л.

Дигидрат тринатриевой соли $C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$: *M* 294,12; 0,1 М раствор содержит 29,41 г/л.

Состав: *x* мл 0,1 М лимонной кислоты + *y* мл 0,1 М тринатриевой соли лимонной кислоты.

pH	0,1 М лимонная кислота *x*, мл	0,1 М тринатриевая соль лимонной кислоты *y*, мл	pH	0,1 М лимонная кислота *x*, мл	0,1 М тринатриевая соль лимонной кислоты *y*, мл
3,0	82,0	18,0	4,8	40,0	60,0
3,2	77,5	22,5	5,0	35,0	65,0
3,4	73,0	27,0	5,2	30,5	69,5
3,6	68,5	31,5	5,4	25,5	74,5
3,8	63,5	36,5	5,6	21,0	79,0
4,0	59,0	41,0	5,8	16,0	84,0
4,2	54,0	46,0	6,0	11,5	88,5
4,4	49,5	50,5	6,2	8,0	92,0
4,6	44,5	55,5			

Буферные растворы, содержащие β,β′*-диметилглутаровую кислоту – NaOH*, pH 3,2 ÷ 7,6 (21°C)

[*Stafford, Watson, Rand*, BBA **18**, 318 (1955)]

Буфер предложен для использования при изучении ферментов, когда требуется буфер с малым поглощением в УФ-свете. Никаких подробностей о приготовлении смесей не приведено. Приведенные ниже приблизительные значения pH были любезно предоставлены Р. Хемсом.

β,β′-Диметилглутаровая кислота $C_7H_{12}O_4$: *M* 160,2.

Состав: 50 мл 0,1 М β,β′-диметилглутаровой кислоты (16,02 г/л) + *x* мл 0,2 М NaOH; разбавить H_2O до 100 мл.

pH (21°C)	0,2 М NaOH *x*, мл	pH (21°C)	0,2 М NaOH *x*, мл
3,2	4,15	5,6	27,9
3,4	7,35	5,8	29,85
3,6	11,0	6,0	32,5
3,8	13,7	6,2	35,25
4,0	16,65	6,4	37,75
4,2	18,4	6,6	42,35
4,4	19,9	6,8	44,0
4,6	20,85	7,0	45,2
4,8	21,95	7,2	46,05
5,0	23,1	7,4	46,6
5,2	24,5	7,6	47,0
5,4	26,0		

Буферные растворы, содержащие ацетат натрия – уксусную кислоту, pH 3,7 ÷ 5,6

Тригидрат ацетата натрия $CH_3COONa \cdot 3H_2O$; *M* 136,09; 0,2 M раствор содержит 27,22 г/л.

Состав: *x* мл 0,2 M NaOAc + *y* мл 0,2 M HOAc.

pH (18°C)	0,2 M NaOAc *x*, мл	0,2 M HOAc *y*, мл	pH (18°C)	0,2 M NaOAc *x*, мл	0,2 M HOAc *y*, мл
3,7	10,0	90,0	4,8	59,0	41,0
3,8	12,0	88,0	5,0	70,0	30,0
4,0	18,0	82,0	5,2	79,0	21,0
4,2	26,5	73,5	5,4	86,0	14,0
4,4	37,0	63,0	5,6	91,0	9,0
4,6	49,0	51,0			

Буферные растворы, содержащие янтарную кислоту – NaOH, pH 3,8 ÷ 6,0 (25°C)

[*Gomori*, Meth. Enzymol. **1**, 141 (1955)]

Янтарная кислота $C_4H_6O_4$: *M* 118,09.

Состав: 25 мл 0,2 M янтарной кислоты (23,62 г/л) + *x* мл 0,2 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

pH (25°C)	0,2 M NaOH *x*, мл	pH (25°C)	0,2 M NaOH *x*, мл
3,8	7,5	5,0	26,7
4,0	10,0	5,2	30,3
4,2	13,3	5,4	34,2
4,4	16,7	5,6	37,5
4,6	20,0	5,8	40,7
4,8	23,5	6,0	43,5

Растворы по Кларку – Лабсу, pH 4,1 ÷ 5,9*

[*Bower, Bates*, J. Res. Natn. Bur. Stand. **55**, 197 (1955)]

Состав: 50 мл 0,1 M КН-фталата (20,42 г/л) + *x* мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

pH (25°C)	0,1 M NaOH *x*, мл	Буферная емкость β	pH (25°C)	0,1 M NaOH *x*, мл	Буферная емкость β
4,10	1,3	0,016	5,10	25,5	0,031
4,20	3,0	0,017	5,20	28,8	0,030
4,30	4,7	0,018	5,30	31,6	0,026
4,40	6,6	0,020	5,40	34,1	0,025
4,50	8,7	0,022	5,50	36,6	0,023
4,60	11,1	0,025	5,60	38,8	0,020
4,70	13,6	0,027	5,70	40,6	0,017
4,80	16,5	0,029	5,80	42,3	0,015
4,90	19,4	0,030	5,90	43,7	0,013
5,00	22,6	0,031			

Буферные растворы, содержащие какодилат натрия – HCl, pH 5,0 ÷ 7,4 (15°C)

[*Plumel*, Bull. Soc. Chim. Biol. **30**, 129 (1948)]

Тригидрат какодилата натрия $Na(CH_3)_2AsO_2 \cdot 3H_2O$: *M* 214,02.

Состав: 50 мл 0,1 M $Na(CH_3)_2AsO_2 \cdot 3H_2O$ (21,40 г/л) + *x* мл 0,1 M HCl; разбавляют H_2O до 100 мл.

pH (15°C)	0,1 M HCl *x*, мл	pH (15°C)	0,1 M HCl *x*, мл
5,0	46,75	6,4	18,75
5,2	45,05	6,6	13,3
5,4	42,6	6,8	9,3
5,6	39,2	7,0	6,3
5,8	34,8	7,2	4,15
6,0	29,55	7,4	2,7
6,2	23,85		

Буферные растворы, содержащие кислый малеат натрия – NaOH, pH 5,2 ÷ 6,8 (25°C)

[*Temple*, JACS **51**, 1754 (1929)]

Кислый малеат натрия $NaHC_4H_2O_4 \cdot 3H_2O$: *M* 192,11; 0,2 M раствор получают растворением 23,2 г малеиновой кислоты в H_2O, добавляют 200 мл 1 M NaOH и разбавляют H_2O до 1 л.

Состав: 25 мл 0,2 M NaH-малеата + *x* мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл

pH (25°C)	0,1 M NaOH *x*, мл	pH (25°C)	0,1 M NaOH *x*, мл
5,2	7,2	6,2	33,0
5,4	10,5	6,4	38,0
5,6	15,3	6,6	41,6
5,8	20,8	6,8	44,0
6,0	26,9		

Буферные растворы, содержащие трис(гидроксиметил)аминометан – малеат, pH 5,4 ÷ 8,4

[*Gomori*, PSEMB **68**, 354 (1948); Meth. Enzymol. **1**, 138 (1955)]

Состав: 25 мл 0,2 M трис-малеата (на 1 л раствора 24,2 г трис + 23,2 г малеиновой кислоты) + + *x* мл 0,2 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

$d\text{pH}/dt \approx -0{,}0067$ (ед./°C)

pH (23°C)	0,2 M NaOH *x*, мл	pH (23°C)	0,2 M NaOH *x*, мл
5,4	5,40	7,0	24,00
5,6	7,75	7,2	25,50
5,8	10,25	7,4	27,00
6,0	13,00	7,6	29,00
6,2	15,75	7,8	31,75
6,4	18,50	8,0	34,50
6,6	21,25	8,2	37,50
6,8	22,50	8,4	40,50

Буферные растворы, содержащие 2-(N-морфолино)этансульфоновую кислоту (MES)–NaOH, pH 5,4 ÷ 6,8

Состав: 25 мл 0,1 M MES (19,523 г/л) + *x* мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 50 мл.

pH	0,1 M NaOH *x*, мл		pH	0,1 M NaOH *x*, мл	
	21°C	37°C		21°C	37°C
5,4	–	4,4	6,2	10,3	12,0
5,6	4,6	5,7	6,4	12,9	14,9
5,8	6,2	7,3	6,6	15,3	16,9
6,0	8,0	9,4	6,8	17,4	–

Буферные растворы, содержащие $Na_2HPO_4–NaH_2PO_4$, pH 5,8 ÷ 8,0 (25°C)

[*Gomori, Sørensen*, Meth. Enzymol **1**, 143 (1955)]

$Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$: *M* 178,05; 0,2 M раствор содержит 35,61 г/л.

$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$: *M* 358,22; 0,2 M раствор содержит 71,64 г/л.

$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$: *M* 138,01; 0,2 M раствор содержит 27,6 г/л.

$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$: *M* 156,03; 0,2 M раствор содержит 31,21 г/л.

Состав: *x* мл 0,2 M Na_2HPO_4 + *y* мл 0,2 M NaH_2PO_4; разбавляют H_2O до 100 мл.

pH (25°C)	0,2 M Na_2HPO_4 *x*, мл	0,2 M NaH_2PO_4 *y*, мл	pH (25°C)	0,2 M Na_2HPO_4 *x*, мл	0,2 M NaH_2PO_4 *y*, мл
5,8	4,0	46,0	7,0	30,5	19,5
6,0	6,15	43,85	7,2	36,0	14,0
6,2	9,25	40,75	7,4	40,5	9,5
6,4	13,25	36,75	7,6	43,5	6,5
6,6	18,75	31,25	7,8	45,75	4,25
6,8	24,5	25,5	8,0	47,35	2,65

Растворы по Кларку–Лабсу, pH 5,8 ÷ 8,0*

[*Bower, Bates*, J. Res. Natn. Bur. Stand. **55**, 197 (1955)]

Состав: 50 мл 0,1 M KH_2PO_4 (13,60 г/л) + *x* мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

pH (25°C)	0,1 M NaOH *x*, мл	Буферная емкость β	pH (25°C)	0,1 M NaOH *x*, мл	Буферная емкость β
5,80	3,6				
5,90	4,6	0,010	7,00	29,1	0,031
6,00	5,6	0,011	7,10	32,1	0,028
6,10	6,8	0,012	7,20	34,7	0,025
6,20	8,1	0,015	7,30	37,0	0,022
6,30	9,7	0,017	7,40	39,1	0,020
6,40	11,6	0,021	7,50	40,9	0,016
6,50	13,9	0,024	7,60	42,4	0,013
6,60	16,4	0,027	7,70	43,5	0,011
6,70	19,3	0,030	7,80	44,5	0,009
6,80	22,4	0,033	7,90	45,3	0,008
6,90	25,9	0,033	8,00	46,1	

Буферные растворы на основе системы бикарбонат натрия – 5% CO_2, pH 6,0 ÷ 8,0 (37°C)

Согласно уравнению Хендерсона – Хассельбаха

$$pH = pK' + \lg\frac{[HCO_3^-]}{[CO_2]}$$

Концентрации бикарбоната близки к указанным при колебаниях атмосферного давления в диапазоне 725–760 мм рт. ст. Температура: при температуре <37°C (>20°C) для получения желаемого pH концентрацию бикарбоната, приведенную в таблице, следует снижать на 1,88% на каждый градус.

pH (37°C)	Концентрация $NaHCO_3$ (*M* 84,02) в равновесии с газовой фазой, содержащей 5% CO_2, моль/л	pH (37°C)	Концентрация $NaHCO_3$ (*M* 84,02) в равновесии с газовой фазой, содержащей 5% CO_2, моль/л
6,0	$5{,}86 \cdot 10^{-4}$	7,2	$9{,}29 \cdot 10^{-3}$
6,2	$9{,}29 \cdot 10^{-4}$	7,4	$1{,}47 \cdot 10^{-2}$
6,4	$1{,}47 \cdot 10^{-3}$	7,6	$2{,}33 \cdot 10^{-2}$
6,6	$2{,}33 \cdot 10^{-3}$	7,8	$3{,}70 \cdot 10^{-2}$
6,8	$3{,}70 \cdot 10^{-3}$	8,0	$5{,}86 \cdot 10^{-2}$
7,0	$5{,}86 \cdot 10^{-3}$		

Буферные растворы, содержащие имидазол (глиоксалин) – HCl, pH 6,2 ÷ 7,8 (25°C)

[*Mertz, Owen*, PSEBM **43**, 204 (1940)]

Имидазол $C_3H_4N_2$: *M* 68,08.

Состав: 25 мл 0,2 М имидазола (13,62 г/л) + *x* мл 0,2 М HCl; разбавляют H_2O до 100 мл

pH (25°C)	0,2 М HCl *x*, мл	pH (25°C)	0,2 М HCl *x*, мл
6,2	21,45	7,2	9,3
6,4	19,9	7,4	6,8
6,6	17,75	7,6	4,65
6,8	15,2	7,8	3,0
7,0	12,15		

Буферные растворы, содержащие 2,4,6-триметилпиридин (2,4,6-коллидин) – HCl, pH 6,4 ÷ 8,3

[*Gomori*, PSEBM **62**, 33 (1946)]

2,4,6-Триметилпиридин $C_8H_{11}N$: *M* 121,18.

Состав: 25 мл 0,2 М 2,4,6-триметилпиридина (24,24 г/л) + *x* мл 0,2 М HCl; разбавляют H_2O до 100 мл.

pH		0,2 М HCl *x*, мл	pH		0,2 М HCl *x*, мл
23°C	37°C		23°C	37°C	
6,4	6,4	22,5	7,5	7,4	11,25
6,6	6,5	21,25	7,6	7,5	10,0
6,8	6,7	20,0	7,7	7,6	8,75
6,9	6,8	18,75	7,8	7,7	7,5
7,0	6,9	17,5	7,9	7,8	6,25
7,1	7,0	16,25	8,0	7,9	5,0
7,2	7,1	15,0	8,2	8,1	3,75
7,3	7,2	13,75	8,3	8,3	2,5
7,4	7,3	12,5			

Буферные растворы, содержащие морфолинопропансульфоновую кислоту (MOPS) – KOH, pH 6,6 ÷ 7,8 (22°C)

Состав: 25 мл 0,1 М MOPS (20,93 г/л) + *x* мл 0,1 М KOH; разбавляют H_2O до 50 мл.

pH	0,1 М KOH *x*, мл		pH	0,1 М KOH *x*, мл	
	22°C	37°C		22°C	37°C
6,4	–	5,8	7,2	11,5	16,4
6,6	4,8	7,8	7,4	15,0	19,3
6,8	6,7	10,1	7,6	18,0	21,8
7,0	8,7	13,0	7,8	20,6	–

Буферные растворы, содержащие 5,5-диэтилбарбитурат натрия (веронал натрия; барбитон натрия) – HCl, pH 6,8 ÷ 9,6 (18°C)

[*Britton, Robinson*, JCS **1931**, 1456]

5,5-Диэтилбарбитурат натрия $C_8H_{11}N_2O_3Na$: *M* 206,18; 0,04 M раствор содержит 8,25 г/л.

Состав: *x* мл 0,04 M диэтилбарбитурата натрия + *y* мл 0,2 M HCl.

pH (18°C)	0,04 M диэтилбарбитурата натрия *x*, мл	0.2 M HCl *y*, мл	pH (18°C)	0,04 диэтилбарбитурата натрия *x*, мл	0,2 M HCl *y*, мл
6,8	100	18,4	8,4	100	5,21
7,0	100	17,8	8,6	100	3,82
7,2	100	16,7	8,8	100	2,52
7,4	100	15,3	9,0	100	1,65
7,6	100	13,4	9,2	100	1,13
7,8	100	11,47	9,4	100	0,70
8,0	100	9,39	9,6	100	0,35
8,2	100	7,21			

Буферные растворы, содержащие N-этилморфолин – HCl, pH 7,0 ÷ 8,2 (20°C)

[*Albert A.*, частное сообщение]

N-Этилморфолин $C_6H_{13}NO$: *M* 115,17. N-Этилморфолин должен быть сухим и свежеперегнанным ($t_{кип}$ 138 ÷ 139°C при 763 мм рт. ст.).

Состав: 50 мл 0,2 M N-этилморфолина (23,03 г/л) + *x* мл 1 M HCl; разбавляют H_2O до 100 мл.

pH (20°C)	1 M HCl *x*, мл	pH (20°C)	1 M HCl *x*, мл
7,0	8,0	7,8	4,0
7,2	7,1	8,0	2,9
7,4	6,1	8,2	2,0
7,6	5,0		

Буферные растворы, содержащие N-((трисгидроксиметил)метил)глицин (TRICINE) – NaOH, pH 7,4 ÷ 8,6 (37°C)

Состав: 25 мл 0,05 M TPICINE (8,958 г/л) + *x* мл 0,05 M NaOH; разбавляют H_2O до 50 мл.

pH	0,05 M NaOH *x*, мл		pH	0,05 M NaOH *x*, мл	
	22°C	37°C		22°C	37°C
7,4	–	8,4	8,2	12,4	18,6
7,6	5,5	10,8	8,4	15,2	21,2
7,8	7,3	13,5	8,6	17,8	23,2
8,0	9,6	16,0	8,8	19,8	–

Буферные растворы, содержащие трис (гидроксиметил) аминометан, pH 7,1 ÷ 8,9 (25°C) *

[*Bates, Bower*, Analyt. Chem. **28**, 1322 (1956)]
$C_4H_{11}NO_3$: *M* 121,14

Состав: 50 мл 0,1 M триса (12,114 г/л) + *x* мл 0,1 M HCl; разбавляют H_2O до 100 мл.

$$I = 0{,}001x$$

$$d\text{pH}/dt \approx -0{,}028 \text{ ед./град}$$

Раствор триса поглощает CO_2 из воздуха [*Bates, Hetzer*, Analyt. Chem. **33**, 1285 (1960)].

pH (25°C)	0,1 M HCl *x*, мл	Буферная емкость β	$\Delta pH_{1/2}$ (рассчит.)
7,10	45,7	0,010	
7,20	44,7	0,012	
7,30	43,4	0,013	
7,40	42,0	0,015	
7,50	40,3	0,017	−0,02
7,60	38,5	0,018	
7,70	36,6	0,020	
7,80	34,5	0,023	
7,90	32,0	0,027	
8,00	29,2	0,029	−0,02
8,10	26,2	0,031	
8,20	22,9	0,031	
8,30	19,9	0,029	−0,01
8,40	17,2	0,026	
8,50	14,7	0,024	
8,60	12,4	0,022	
8,70	10,3	0,020	−0,01
8,80	8,5	0,016	
8,90	7,0	0,014	

Буферные растворы, содержащие N-2-гидроксиэтилпиперазин-N'-этансульфоновую кислоту (HEPES) – NaOH, pH 7,2 ÷ 8,2 (21°C)

Состав: 25 мл 0,1 M HEPES (23,83 г/л) + *x* мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 50 мл.

pH	0,1 M NaOH *x*, мл		pH	0,1 M NaOH *x*, мл	
	21°C	37°C		21°C	37°C
7,0	–	7,4	7,8	13,7	17,1
7,2	6,6	9,9	8,0	16,3	19,5
7,4	8,7	12,3	8,2	18,8	–
7,6	11,2	14,6			

Буферные растворы, содержащие N-2-гидроксиэтилпиперазин-N'-3-пропансульфоновую кислоту (EPPS) – NaOH, pH 7,5 ÷ 8,7

Состав: 25 мл 0,1 М EPPS (25,232 г/л) + *x* мл 0,1 М NaOH; разбавляют H_2O до 50 мл.

pH	0,1 М NaOH *x*, мл		pH	0,1 М NaOH *x*, мл	
	23°C	37°C		23°C	37°C
7,3	–	5,9	8,1	11,7	14,8
7,5	5,4	7,8	8,3	14,2	17,3
7,7	7,1	10,0	8,5	16,8	19,6
7,9	9,3	12,4	8,7	19,3	–

Буферные растворы, содержащие 2-амино-2-метилпропандиол-1,3 – HCl, pH 7,8 ÷ 9,7

[*Gomori*, PSEBM **62**, 33 (1946)]

2-Амино-2-метилпропандиол-1,3 $C_4H_{11}NO_2$: *M* 105,14.

Состав: 25 мл 0,2 М 2-амино-2-метилпропандиола-1,3 (21,03 г/л) + *x* мл 0,2 М HCl; разбавляют H_2O до 100 мл.

pH		0,2 М HCl *x*, мл	pH		0,2 М HCl *x*, мл
23°C	37°C		23°C	37°C	
9,7	9,6	2,5	8,7	8,6	13,75
9,6	9,4	3,75	8,6	8,5	15,0
9,4	9,3	5,0	8,5	8,4	16,25
9,3	9,1	6,25	8,4	8,3	17,5
9,1	9,0	7,5	8,3	8,2	18,75
9,0	8,9	8,75	8,2	8,1	20,0
9,0	8,8	10,0	8,0	7,9	21,25
8,9	8,8	11,25	7,8	7,7	22,5
8,8	8,7	12,5			

Буферные растворы, содержащие N,N-бис(2-гидроксиметил) глицин (BICINE)–NaOH, pH 7,9 ÷ 8,9 (22 °C)

Состав: 25 мл 0,1 M BICINE (16,317 г/л) + *x* мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 50 мл.

pH	0,1 M NaOH *x*, мл		pH	0,1 M NaOH *x*, мл	
	22 °C	37 °C		22 °C	37 °C
7,7	–	6,5	8,5	12,7	17,0
7,9	5,7	8,6	8,7	15,8	19,4
8,1	7,8	11,0	8,9	18,3	–
8,3	10,0	13,9			

Растворы по Кларку–Лабсу, pH 8,0 ÷ 10,2 *

[*Bower, Bates,* J. Res. Natn. Bur. Stand. **55**, 197 (1955)]

Состав: 50 мл 0,1 M KCl + H_3BO_3 (на 1 л раствора 7,455 г KCl + 6,184 г H_3BO_3) + *x* мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

pH (25 °C)	0,1 M NaOH *x*, мл	Буферная емкость β	pH (25 °C)	0,1 M NaOH *x*, мл	Буферная емкость β
8,00	3,9				
8,10	4,9	0,010	9,20	26,4	0,029
8,20	6,0	0,011	9,30	29,3	0,028
8,30	7,2	0,013	9,40	32,1	0,027
8,40	8,6	0,015	9,50	34,6	0,024
8,50	10,1	0,016	9,60	36,9	0,022
8,60	11,8	0,018	9,70	38,9	0,019
8,70	13,7	0,020	9,80	40,6	0,016
8,80	15,8	0,022	9,90	42,2	0,015
8,90	18,1	0,025	10,00	43,7	0,014
9,00	20,8	0,027	10,10	45,0	0,013
9,10	23,6	0,028	10,20	46,2	

Боратные буферные растворы, pH 8,1 ÷ 9,0 (25°C) *

[*Bates, Bower*, Analyt. Chem. **28**, 1322 (1956)]

Состав: 50 мл 0,025 M $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ (9,525 г/л) + *x* мл 0,1 M HCl; разбавляют H_2O до 100 мл H_2O.

$I \approx 0{,}025$

$d\text{pH}/dt \approx 0{,}008$ ед./град

pH (25 °C)	0,1 M HCl *x*, мл	Буферная емкость β	$\Delta\text{pH}_{1/2}$
8,10	19,7	0,009	+0,07
8,20	18,8	0,010	
8,30	17,7	0,011	
8,40	16,6	0,012	
8,50	15,2	0,015	+0,05
8,60	13,5	0,018	
8,70	11,6	0,020	
8,80	9,4	0,023	+0,04
8,90	7,1	0,024	
9,00	4,6	0,026	+0,02

Буферные растворы, содержащие глицин–NaOH, pH 8,6 ÷ 10,6 (25°C)

[*Gomori, Sørensen*, Meth. Enzymol. **1**, 145 (1955)]

Глицин (аминоуксусная кислота) $C_2H_5NO_2$: *M* 75,07.

Состав: 25 мл 0,2 M глицина (15,01 г/л) + *x* мл 0,2 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

$d\text{pH}/dt = -0{,}026$ ед./град

pH (25°C)	0,2 M NaOH *x*, мл	pH (25°C)	0,2 M NaOH *x*, мл
8,6	2,0	9,6	11,2
8,8	3,0	9,8	13,6
9,0	4,4	10,0	16,0
9,2	6,0	10,4	19,3
9,4	8,4	10,6	22,75

Буферные растворы, содержащие карбонат натрия – бикарбонат натрия, pH 9,2 ÷ 10,8

[*Delory, King*, BJ **39**, 245 (1945)]

$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$: *M* 286,2; 0,1 M раствор содержит 28,62 г/л.
$NaHCO_3$: *M* 84,0; 0,1 M раствор содержит 8,40 г/л.

Состав: *x* мл 0,1 M Na_2CO_3 + *y* мл 0,1 M $NaHCO_3$.

pH		0,1 M Na_2CO_3	0,1 M $NaHCO_3$
		x, мл	*y*, мл
20 °C	37 °C		
9,2	8,8	10	90
9,4	9,1	20	80
9,5	9,4	30	70
9,8	9,5	40	60
9,9	9,7	50	50
10,1	9,9	60	40
10,3	10,1	70	30
10,5	10,3	80	20
10,8	10,6	90	10

Боратные буферные растворы, pH 9,3 ÷ 10,7 (25 °C) *

[*Bates, Bower*, Analyt. Chem. **28**, 1322 (1956)]

Состав: 50 мл 0,025 M $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ (9,525 г/л) + *x* мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

$$I = 0{,}001\,(25 + x)$$
$$d\mathrm{pH}/dt \approx -0{,}008 \text{ ед./град}$$

pH (25 °C)	0,1 M NaOH *x*, мл	Буферная емкость β	$\Delta pH_{1/2}$
9,30	3,6	0,027	+0,01 [a]
9,40	6,2	0,026	+0,01 [б]
9,50	8,8	0,025	
9,60	11,1	0,022	+0,01 [a], +0,01 [б]
9,70	13,1	0,020	
9,80	15,0	0,018	+0,01 [б]
9,90	16,7	0,016	
10,00	18,3	0,014	
10,10	19,5	0,011	−0,01 [a]
10,20	20,5	0,009	0,00 [б]
10,30	21,3	0,008	
10,40	22,1	0,007	
10,50	22,7	0,006	
10,60	23,3	0,005	
10,70	23,8	0,004	

[a] Экспериментальное значение.
[б] Рассчитанное значение

Карбонатные буферные растворы, pH 9,7 ÷ 10,9 (25 °C)*

[*Bates, Bower*, Analyt. Chem. **28**, 1322 (1956)]

Состав: 50 мл 0,05 M $NaHCO_3$ (4,20 г/л) + x мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

$$I = 0{,}001\,(25 + 2x)$$

$$d\mathrm{pH}/dt \approx -0{,}009 \text{ ед./град}$$

pH (25 °C)	0,1 M NaOH x, мл	Буферная емкость β	$\Delta\mathrm{pH}_{1/2}$
9,70	6,2	0,013	+0,02[а], +0,03[б]
9,80	7,6	0,014	
9,90	9,1	0,015	+0,03[б]
10,00	10,7	0,016	+0,04[а]
10,10	12,2	0,016	+0,04[а]
10,20	13,8	0,015	
10,30	15,2	0,014	+0,02[б]
10,40	16,5	0,013	
10,50	17,8	0,013	
10,60	19,1	0,012	+0,03[а]
10,70	20,2	0,010	0,00[б]
10,80	21,2	0,009	
10,90	22,0	0,008	

[а] Экспериментальное значение.
[б] Рассчитанное значение.

Фосфатные буферные растворы, pH 11,0 ÷ 11,9 (25 °C)*

[*Bates, Bower*, Analyt. Chem. **28**, 1322 (1956)]

Состав: 50 мл 0,05 M Na_2HPO_4 (7,10 г/л) + x мл 0,1 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

$$I = 0{,}001\,(77 + 2x)$$

$$d\mathrm{pH}/dt \approx -0{,}025 \text{ ед./град}$$

pH (25 °C)	0,1 M NaOH x, мл	Буферная емкость β	$\Delta\mathrm{pH}_{1/2}$
11,00	4,1	0,009	
11,10	5,1	0,011	−0,06[а], −0,07[б]
11,20	6,3	0,012	
11,30	7,6	0,014	
11,40	9,1	0,017	−0,09[а], −0,10[б]
11,50	11,1	0,022	
11,60	13,5	0,026	
11,70	16,2	0,030	−0,15[б]
11,80	19,4	0,034	−0,13[а], −0,17[б]
11,90	23,0	0,037	

[а] Экспериментальное значение.
[б] Рассчитанное значение.

Буферные растворы, содержащие гидроксид натрия – хлорид калия pH 12,0 ÷ 13,0 (25 °C) *

[*Bates, Bower*, Analyt. Chem. **28**, 1322 (1956)]

Состав: 25 мл 0,2 M KCl (14,91 г/л) + x мл 0,2 M NaOH; разбавляют H_2O до 100 мл.

$$I = 0{,}001\,(50 + 2x)$$

$$d\mathrm{pH}/dt \approx -0{,}033 \text{ ед./град}$$

pH (25 °C)	0,2 M NaOH x, мл	Буферная емкость β	$\Delta\mathrm{pH}_{1/2}$ (рассчит.)
12,00	6,0	0,028	−0,28
12,10	8,0	0,042	
12,20	10,2	0,048	−0,28
12,30	12,8	0,060	
12,40	16,2	0,076	
12,50	20,4	0,094	−0,28
12,60	25,6	0,12	
12,70	32,2	0,16	
12,80	41,2	0,21	−0,28
12,90	53,0	0,25	
13,00	66,0	0,30	−0,27

Буферы для электрофореза

Буферные системы, описанные в других разделах, могут быть положены в основу электрофоретических буферов; предпочтительнее использовать буферные системы известной и постоянной ионной силы на основе однозарядных ионов.

В литературе описано множество буферных растворов для зонного электрофореза (на бумаге, в геле, колонке); поскольку многие из них были разработаны специально для какой-то конкретной цели, далее описаны лишь очень немногие из них.

БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА НА ОСНОВЕ ОДНОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ

При электрофорезе по методу движущейся границы важно, чтобы буферный ион с меньшей подвижностью имел тот же знак, что и белковый ион.

Подвижности ионов наиболее часто используемых буферов

Слабая кислота или основание	pK (25 °C)	Подвижность иона в 0,1 M растворе, 10^{-5} см^2/(В·с)
Глицин	2,3	+15,6
Молочная кислота	3,8	−13,1
Уксусная кислота	4,7	−16,6
Какодиловая кислота	6,2	−10,1
Диэтилбарбитуровая кислота	7,9	−10,2
Триэтаноламин	7,9	+9,1
Диэтаноламин	9,0	+11,4
Натрий-ион		+22,2
Хлорид-ион		−37,0

Буферные растворы для бумажного электрофореза белков

pH	I	Компоненты (их содержание, г/л)
4,4	0,2	Na_2HPO_4 (9,44 г) + лимонная кислота (10,3 г)
4,5	0,1	NaCl (3,51 г) + NaOAc (3,28 г); доводят до pH 4,5 1 М HCl
6,5	0,1	KH_2PO_4 (3,11 г) + Na_2HPO_4 (1,49 г)
7,8	0,12	$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ (0,294 г) + Na_2HPO_4 (3,25 г)
8,6	0,05	Диэтилбарбитуровая кислота (1,84 г) + диэтилбарбитурат натрия (10,30 г)
8,6	0,075	Диэтилбарбитуровая кислота (2,76 г) + диэтилбарбитурат натрия (15,45 г)
8,6	0,1	Диэтилбарбитуровая кислота (3,68 г) + диэтилбарбитурат натрия (20,6 г)
8,9	—	Трис(гидроксиметил)аминометан (трис)(60,5 г) + этилендиаминтетрауксусная кислота (EDTA) (6,0 г) + борная кислота (4,6 г), т.е. 0,5 М трис + 0,021 М EDTA + 0,075 М H_3BO_3

Летучие буферные растворы для высоковольтного электрофореза

Приведены рабочие области pH различных систем, а также некоторые особые смеси, описанные в литературе.

pH	Система
~2	Уксусная кислота - муравьиная кислота
2,3–3,5	Пиридин - муравьиная кислота
3,5–6,0	Пиридин – уксусная кислота
3,0–6,0	Триметиламин – муравьиная или уксусная кислота
5,5–7,0	Коллидин – уксусная кислота
7,0–12,0	Триметиламин – диоксид углерода
6,0–10,0	Аммиак – муравьиная или уксусная кислота
6,5–11,0	Моно(или три)этаноламин - соляная кислота
8,0–9,5	Карбонат аммония – аммиак

Обычные летучие буферные смеси

pH	Компоненты
1,9	CH_3COOH (87 мл, ледяная) + HCOOH (25 мл 88%-ная); H_2O до 1 л
2,1	HCOOH (25 мл 88%-ная); H_2O до 1 л
3,1	Пиридин (5 мл) + CH_3COOH (100 мл, ледяная); H_2O до 1 л
3,5	Пиридин (5 мл) + CH_3COOH (50 мл, ледяная); H_2O до 1 л
4,7	Пиридин (25 мл) + CH_3COOH (25 мл, ледяная); H_2O до 1 л
6,5	Пиридин (100 мл) + CH_3COOH (4 мл, ледяная); H_2O до 1 л
7,9	0,03 М NH_4HCO_3
8,9	$(NH_4)_2CO_3$ (20 г/л)

pH растворов некоторых широко используемых реагентов (температура комнатная)

[*Bates R. G.*, Determination of pH: Theory and Practice, 2nd ed., Wiley, New York, 1964]

Вещество	Содержание, моль/л	~pH
Аммиак водный	0,1	11,3
Аммония оксалат	0,1	6,4
Аммония сульфат	0,1	5,5
Аммония фосфат однозамещенный	0,1	4,0
Аммония фосфат двухзамещенный	0,1	7,9
Аммония хлорид	0,1	4,6
Барбитал натрия	0,1	9,4
Бензойная кислота	Насыщенный раствор	2,8
Борная кислота	0,1	5,3
Бура	0,1	9,2
Винная кислота	0,1	2,0
Калия ацетат	0,1	9,7
Калия бикарбонат	0,1	8,2
Калия биоксалат	0,1	2,7
Калия карбонат	0,1	11,5
Калия фосфат однозамещенный	0,1	4,5
Кальция гидроксид	Насыщенный раствор	12,4
Квасцы аммонийные	0,05	4,6
Квасцы калиевые	0,1	4,2
Лимонная кислота	0,1	2,1
Натрия ацетат	0,1	8,9
Натрия бензоат	0,1	8,0
Натрия бикарбонат	0,1	8,3
Натрия бисульфат	0,1	1,4
Натрия гидроксид	0,1	12,9
Натрия карбонат	0,1	11,5
Натрия фосфат однозамещенный	0,1	4,5
Натрия фосфат двухзамещенный	0,1	9,2
Салициловая кислота	Насыщенный раствор	2,4
Соляная кислота	0,1	1,1
Трихлороуксусная кислота	0,1	1,2
Щавелевая кислота	0,1	1,3
Янтарная кислота	0,1	2,7

Кислотно-основные индикаторы

Индикатор	Растворитель (250 мл) + 0,1 г индикатора	Окраска		Рабочая область pH
		в кислоте	в щелочи	
Крезоловый красный (кислая область)	H_2O, содержащая 2,62 мл 0,1 М NaOH	Красная	Желтая	0,2 ÷ 1,8
м-Крезоловый пурпурный (кислая область)	H_2O, содержащая 2,72 мл 0,1 М NaOH	»	»	1,0 ÷ 2,6
Тимоловый синий (кислая область)	H_2O, содержащая 2,15 мл 0,1 М NaOH	»	»	1,2 ÷ 2,8
Тропеолин ОО	H_2O	»	»	1,3 ÷ 3,0
Метиловый желтый	90%-ный EtOH	»	»	2,9 ÷ 4,0
Бромофеноловый синий	H_2O, содержащая 1,49 мл 0,1 М NaOH	Желтая	Пурпурная	3,0 ÷ 4,6
Тетрабромофеноловый синий	H_2O, содержащая 1,0 мл 0,1 М NaOH	»	Синяя	3,0 ÷ 4,6
Конго красный	H_2O или 80%-ный EtOH	Фиолетовая	Красно-оранжевая	3,0 ÷ 5,0
Метиловый оранжевый	H_2O (для кислотной формы индикатора) или H_2O, содержащая 3 мл 0,1 М HCl (для Na-соли)	Красная	Оранжево-желтая	3,1 ÷ 4,4
Бромокрезоловый зеленый (синий)	H_2O, содержащая 1,43 мл 0,1 М NaOH	Желтая	Синяя	3,6 ÷ 5,2
Метиловый красный	H_2O (для Na-соли) или 60%-ный EtOH (для кислотной формы индикатора)	Красная	Желтая	4,2 ÷ 6,3
Хлорофеноловый красный	H_2O, содержащая 2,36 мл 0,1 М NaOH	Желтая	Фиолетово-красная	4,8 ÷ 6,4
Бромокрезоловый пурпурный	H_2O, содержащая 1,85 мл 0,1 М NaOH	»	Фиолетовая	5,2 ÷ 6,8
Азолитмин (лакмус)	H_2O	Красная	Синяя	5,0 ÷ 8,0
Бромотимоловый синий	H_2O, содержащая 1,6 мл 0,1 М NaOH	Желтая	»	6,0 ÷ 7,6
Феноловый красный	H_2O, содержащая 2,82 мл 0,1 М NaOH	Желтая	Красная	6,8 ÷ 8,4
Нейтральный красный	70%-ный EtOH	Красная	Оранжево-коричневая	6,8 ÷ 8,0
Крезоловый красный (щелочная область)	H_2O, содержащая 2,62 мл 0,1 М NaOH	Желтая	Красная	7,2 ÷ 8,8
м-Крезоловый пурпурный (щелочная область)	H_2O, содержащая 2,62 мл 0,1 М NaOH	»	Пурпурная	7,6 ÷ 9,2
Тимоловый синий (щелочная область)	H_2O, содержащая 2,15 мл 0,1 М NaOH	»	Синяя	8,0 ÷ 9,6
Фенолфталеин	70%-ный EtOH (60%-ный целлозольв)	Неокрашенная (бесцветная)	Розовая	8,3 ÷ 10,0
Тимолфталеин	90%-ный EtOH	То же	Синяя	9,3 ÷ 10,5
Ализарин желтый	EtOH	Желтая	Красная	10,1 ÷ 12,0
Тропеолин О	H_2O	»	Оранжевая	11,1 ÷ 12,7

Обычно доводят pH растворов индикаторов до промежуточной окраски с помощью 0,1 М NaOH или 0,1 М HCl.

Физиологические среды

Растворы Рингера (в модификации Кребса) для млекопитающих

Состав указан в объемных долях. См. замечания к таблице.

Растворы для приготовления растворов Рингера (все приблизительно изотоничны сыворотке)	Растворы Рингера (А–Д) и обогащенная сыворотка (Е) по Кребсу					
	А	Б	В	Г	Д	Е[а]
0,90%-ный NaCl (0,154 М)	100	100	80	83	95	
1,15%-ный KCl (0,154 М)	4	4	4	4	4	
1,22%-ный $CaCl_2$ (0,11 М)	3[б]	3[б]	3[б]		3[б]	
2,11%-ный KH_2PO_4 (0,154 М)	1	1	1	1	1	
3,8%-ный $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (0,154 М)	1[в]	1[в]	1[в]	1[в]	1[в]	
1,3%-ный $NaHCO_3$	21[г]		21[г]	3	3	
0,1 М фосфатный буфер, pH 7,4 (17,8 г $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$ + 20 мл 1 М HCl; разбавляют до 1 л)		21				
0,16 М пируват Na (или L-лактат)			4	4	4	3
0,1 М фумарат Na			7	7	7	6
0,16 М L-глутамат Na			4	4	4	3
0,3 М (5,4%-ная) глюкоза			5	5	5	5
0,1 М Na-фосфатный буфер [100 об. 0,1 М Na_2HPO_4 (1,78%-ный $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$) + 25 об. 0,1 М NaH_2PO_4 (1,38%-ный $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$)]				18	3	
Сыворотка из быстроохлажденной крови						100

[а] Уравновешенный с газовой фазой, содержащей 5% CO_2.
[б] Концентрация Ca^{2+} в 2 раза выше, чем в сыворотке [Nature, Lond. **184**, 1315 (1959)].
[в] В заменителе сыворотки человека заменен на 50% на раствор 0,154 М $MgCl_2$.
[г] Перед смешиванием с другими растворами газируют чистым (100%-ным CO_2) в течение 1 ч.

Замечания к таблице. А и Б – исходные бикарбонатный (А) и фосфатный (Б) растворы Рингера в модификациях Кребса и Хенселейта [ZPC **210**, 33 (1932); **217**, 193 (1933)]. Концентрация ионов Cl^- на ~20% выше, чем в сыворотке млекопитающих.

В – раствор I Рингера в модификации Кребса [BBA **4**, 249 (1950)]. Концентрация электролитов и органических кислот, как в сыворотке млекопитающих, и содержит внутренний субстрат.

Г – раствор II Рингера в модификации Кребса. Низкая концентрация бикарбоната, Ca^{2+} отсутствует [BBA **4**, 249 (1950)]. Пригоден для измерения продукции CO_2 путем прямого поглощения CO_2. Полезен для культивирования измельченных тканей и гомогенатов, так как более высокая и равномерная скорость дыхания достигается в средах, не содержащих Ca. Концентрация фосфата в 20 раз выше, а бикарбоната в 10 раз ниже, чем физиологическая.

Д – раствор III Рингера в модификации Кребса. Низкое содержание фосфата, бикарбоната и CO_2. Пригоден для измерения продукции CO_2 путем прямого поглощения CO_2. Концентрация Ca вдвое выше, чем концентрация ионизованного Ca в сыворотке. Ограниченная буферная емкость.

Хранение. Сложный раствор, содержащий NaCl, KCl, $CaCl_2$, KH_2PO_4 и $MgSO_4 \pm 3$ объема раствора $NaHCO_3$, не должен содержать осадка солей Ca или Mg. Опасности микробного заражения можно избежать, если каждый исходный раствор готовить в 5 раз более концентрированным и разбавлять до требуемой концентрации непосредственно перед использованием. Растворы солей органических кислот и глюкозы должны быть свежеприготовленными или стерилизованными; хранить их можно замороженными.

Другие сбалансированные солевые растворы

Соли и глюкозу растворяют в воде для получения 100 мл раствора. Для стерилизации растворов, содержащих $NaHCO_3$, нельзя использовать нагревание, так как происходят потери CO_2, что вызывает «защелачивание» (повышение pH); стерилизацию растворов можно проводить путем фильтрования через бактериологические фильтры (нитроцеллюлозные или миллипоровские фильтры). Для рептилий можно использовать бикарбонатный раствор Рингера в модификации Кребса–Хенселейта.

Раствор	Компоненты раствора, г 100 мл											Примечания
	NaCl	KCl	$CaCl_2$, безводн.	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	$Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$	KH_2PO_4	Глюкоза	$NaHCO_3$	Газ	
Рингера (сердце лягушки)	0,65	0,014	0,012			0,001			0,2	0,02	Воздух	
Локка (сердце млекопитающих)	0,9	0,042	0,024						0,1–0,25	0,01–0,03	»	Для холоднокровных животных количество NaCl снижают до 0,65 г.
Тирода (кишечник кролика)	0,8	0,02	0,02		0,1	0,006			0,1	0,1	»	Некоторые исследователи используют 0,01 г $MgCl_2$ (безводн.)
Гея (1)	0,7	0,037	0,017	0,007	0,021		0,015	0,003	0,1	0,227	5% CO_2 в воздухе	
Гея (2)	0,8	0,0375	0,0275		0,021		0,015	0,0025	0,2	0,025	Воздух	
Симмса	0,8	0,02	0,0147		0,02		0,021		0,1	0,1	2% CO_2 в воздухе	
Эрла	0,68	0,04	0,02	0,01		0,0125			0,1	0,22	5% CO_2 в воздухе	
Хенкса	0,80	0,04	0,014	0,01	0,01		0,006	0,006	0,1	0,035	Воздух	Обычно добавляют 20 мг индикатора фенолового красного
Дюльбекко	0,80	0,02	0,01		0,01		0,115	0,02			»	
Рингера (амфибии)	0,65	0,025	0,03							0,2	»	pH доводят до 7,0 ÷ 7,4
Солевой (морские моллюски)	2,34		0,56		1,62						»	
Солевой (морские ракообразные)	2,92	0,075	0,44								»	
Солевой (пластинчатожаберные)	1,64	0,089	0,11			0,007			0,1	0,038		Добавляют также 2,16 г мочевины/100 мл
Локка (насекомые)	0,9	0,042	0,025						0,25	0,02	»	
Виатта (чешуекрылые)		0,298	0,081	0,37	0,304	0,127			0,07			Добавляют фруктозу и сахарозу, каждой по 40 мг/100 мл
Карлсона (прямокрылые)	0,7	0,02	0,002		0,01	0,023			0,08	0,005	Воздух	
Хольтфретера (амфибии и рыбы)	0,35	0,005	0,0076							0,02	»	
Кортланда (форель)	0,725	0,038	0,018	0,023		0,041			0,1	0,1	»	

Искусственная морская вода

1) Готовят из растворов, изотоничных морской воде. Соленость морской воды Атлантического океана составляет 3,50 ÷ 3,55%, морской воды Северного моря – 3,4–3,5%.

Концентрация изотонического раствора, моль/л	Солевой компонент	Объемная доля, мл/л
0,54	NaCl	739,6
0,54	KCl	18,05
0,36	$MgCl_2$	145,7
0,36	$CaCl_2$	28,0
0,44	Na_2SO_4	63,0
0,54	$NaHCO_3$	4,6
0,54	NaBr	1,05 (в большинстве случаев может быть заменен на NaCl)

2) Готовят следующие растворы солей (указанное количество соли растворяют в воде и разбавляют водой до 1 л): NaCl (24,7 г); KCl (0,7 г); $MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$ (6,3 г); $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (4,6 г); $CaCl_2$ (1,0 г безводн.); $NaHCO_3$ (0,2 г).

19. Гель-электрофорез

Ниже описаны некоторые общие методики и реагенты, используемые при электрофорезе нуклеиновых кислот и белков в акриламидном и агарозном гелях. Приведены также работы, из которых взяты основные детали описываемых методик.

Перекристаллизация акриламидов

Осторожно! Акриламид и бисакриламид чрезвычайно токсичны, поэтому следует принимать соответствующие меры предосторожности, чтобы они не попали на кожу, а также чтобы исключить вдыхание мелких кристаллов.

Акриламид. 200 г растворяют в 1 л $CHCl_3$, нагревают до кипения и фильтруют без отсасывания с помощью воронки для горячего фильтрования через фильтр ватман № 541. Фильтрат охлаждают до комнатной температуры и оставляют на ночь при $-15°C$. Выпавшие кристаллы отделяют путем фильтрования с отсасыванием, используя воронку с охлаждением, и промывают 300 мл холодного $CHCl_3$. Кристаллы высушивают на воздухе в умеренно нагретом сушильном шкафу.

Бисакриламид. 100 г растворяют в 500 мл кипящего MeOH и фильтруют без отсасывания через воронку для горячего фильтрования. Фильтрат охлаждают до комнатной температуры и оставляют на ночь при $-15°C$. Выпавшие кристаллы собирают путем фильтрования с отсасыванием, используя воронку с охлаждением, и промывают 300 мл холодного MeOH. Кристаллы высушивают на воздухе в умеренно нагретом сушильном шкафу.

Краситель кумасси синий для белков

0,2 г кумасси бриллиантового синего растворяют в 90 мл $MeOH:H_2O$ (1:1, об./об.) и 10 мл ледяной уксусной кислоты. Гель погружают в пятикратный (относительно объема геля) объем раствора красителя на $\geqslant 1$ ч; время от времени систему встряхивают. Прокрашивание обычно завершается за 3 ч. Фоновое прокрашивание убирают повторным промыванием геля в 10%-ном растворе уксусной кислоты в 20%-ном водно-метанольном растворе. Удаление несвязавшегося красителя можно быстро осуществить электрофоретически [Anal. Biochem. **33**, 259 (1970)].

Известны различные варианты метода прокрашивания кумасси бриллиантовым синим [JBC **244**, 440 (1969); J. Virol. **12**, 241 (1973); Biochem. **10**, 2606 (1971); Anal. Biochem. **43**, 173 (1971); Meth. Enzymol. **91**, 236 (1983)].

Окрашивание белков солями серебра

Этот метод в ~ 100 раз более чувствителен, чем окрашивание кумасси бриллиантовым синим, и сравним по чувствительности с радиоавтографией радиоактивно меченных белков. Упрощения и вариации первоначальной методики [Anal. Biochem. **98**, 231 (1979)] описаны в работах [Anal. Biochem. **105**, 361 (1980); Electrophoresis **2**, 135 (1983); Anal. Biochem. 129, 277 (1983); **130**, 353 (1983); **131**, 46 (1983)].

Окрашивание РНК

Толуидиновый синий. 0,01–0,5%-ный раствор толуидинового синего в воде. Чем более интенсивно прокрашивается гель, тем более длительное время требуется для отмывания его от красителя. Время окрашивания может варьировать от 1 мин до нескольких часов в зависимости от количества РНК в гелях. Гель отмывают от красителя в воде, многократно ее меняя и слегка взбалтывая.

Используются также другие основные красители, такие, как метиленовый синий; в литературе описано очень много методик [Anal. Biochem. **59**, 599 (1974)].

Метиленовый синий в концентрациях $>0{,}1\%$ так сильно окрашивает агарозу, что гель приходится отмывать в течение нескольких суток. Имеются сообщения, что в случае окрашивания толуидиновым синим, метиленовым синим и некоторыми другими красителями, но не бромидом этидия* (*см.*), наблюдается разрушение РНК в результате протекающей под действием света катализируемой красителем реакции [Anal. Biochem. **65**, 331 (1975)].

Бромид этидия. Гель окрашивают в 0,01%-ном растворе бромида этидия в 0,02 М ацетате натрия (pH 7,8). Полосы РНК видны в УФ-свете без отмывания от избытка красителя [Anal. Biochem. **65**, 331 (1975)]; используется также для окрашивания ДНК.

Серебряный краситель. Этот краситель более чувствителен, чем бромид этидия или толуидиновый синий. Однако биологическая активность РНК при этом, по-видимому, снижается. Упрощения и варианты исходного метода прокрашивания для белков описаны в работах [Anal. Biochem. **134**, 184 (1983); J. Virol. Methods **7**, 185 (1983)].

Окрашивание ДНК бромидом этидия

Гель погружают в разбавленный (наиболее подходящая концентрация 0,5 мкг/мл) раствор бромида этидия в воде или электродном буфере на $1 \div 2$ ч и следят за окрашиванием в УФ-свете [JMB **98**, 583 (1971)]. При определении небольших количеств ДНК может оказаться полезным кратковременное промывание водой.

Имеются данные, что при интенсивном освещении видимым светом в присутствии этидия могут происходить одноцепочечные разрывы молекул ДНК [J. Virol. **9**, 317 (1972)]. РНК также окрашивается.

Флюорография пластин акриламидных гелей

В первоначальном методе [EJB **46**, 83 (1974) использовался 22%-ный PPO. Далее методика флюорографии была изменена; тонкослойная хроматография [Anal. Biochem. **89**, 247 (1978)] проводилась с использованием нафталина (т. е. не требовала дорогих реактивов, хотя не уступала по эффективности [Virology **113**, 1 (1981)].

Гель фиксируют в смеси 10%-ная уксусная кислота – 10%-ный изопропанол (не менее 1 ч) и затем дважды по 30 мин вымачивают в ДМСО; после чего гель в течение 3 ч выдерживают в смеси свежеприготовленного 20%-ного (масс./об.) раствора нафталина (марки «техн.») с 0,5%-ным (масс./об.) раствором PPO в ДМСО. Реагент сливают, а ДМСО удаляют по крайней мере двумя промывками водой, по 1–2 ч каждая. Полное удаление ДМСО весьма существенно для предотвращения приклеивания гелей после высушивания.

Гель высушивают на бумаге ватман 3mm в вакууме при 100°C (подробнее о технике работы и т. д. см. в работе [Methods in Virology **5**, 179 (1971)]; имеется также коммерческий прибор).

Гель покрывают пленкой Kodak Xomat RP и экспонируют при -80°C. Предварительное засвечивание пленки может повысить чувствительность [EJB **46**, 83 (1974)]. Для грубой оценки можно считать, что после экспозиции в течение ночи (без предварительной засветки) в 1-см полосе регистрируется радиоактивность ^{14}C в количестве ~ 100 расп./мин.

Известен более быстрый метод регистрации с использованием в качестве флуоресцентной метки салицилата натрия [Anal. Biochem. **98**, 132 (1979)]. Однако при этом полосы получаются немного более размытыми, чем при работе с PPO или нафталином.

Гель вымачивают в 10 объемах 1 М салицилата натрия (pH $5 \div 7$) в течение 30 мин; высушивают в вакууме в течение 2 ч при 80°C и экспонируют с рентгеновской пленкой при -70°C.

Литература по гель-электрофорезу

А. Нуклеиновые кислоты. Молекулы РНК и ДНК разного размера (от мононуклеотидов до двуспиральных ДНК с молекулярными массами $>100 \cdot 10^6$) могут быть фракционированы по размеру с помощью электрофореза в твердых носителях в поперечно-сшитом полиакриламиде

---

* *Осторожно*! Бромид этидия – сильный мутаген; при работе с ним следует соблюдать чрезвычайную осторожность.

и/или агарозе. Для ДНК с большими M следует использовать агарозу. Обычно можно работать и с трубками гелей, и пластинами. Хотя трубки гелей очень удобны, пластины гелей также имеют свои преимущества: они приводят к более высокому разрешению, позволяют проводить более наглядное сравнение различных образцов нуклеиновых кислот, удобны для радиоавтографии. Пластины гелей более пригодны для крупномасштабной очистки нуклеиновых кислот.

Здесь невозможно в краткой форме описать все применяемые в гель-электрофорезе нуклеиновых кислот приемы; приведем лишь основные ссылки на литературу, где описаны необходимые детали: *Методы разделения нуклеиновых кислот и олигонуклеотидов: Gould H., Mathews H. R.*, in: Laboratory techniques in biochemistry and molecular biology, T. S. Work (eds.), North-Holland Publishing Co., 1976. См. также Gel electrophoresis of nucleic acids: a practical approach, D. Rickwood, B. D. Hames (eds.), IRL Press, Oxford, 1982.

РНК: BJ **102**, 251 (1967); Methods in Virology **5**, 125 (1971); Meth. Enzymol. **21**, 167 (1971); JMB **79**, 237 (1973); Biochem. **12**, 3055 (1973); Biochem. **12**, 4361 (1973); Anal. Biochemistry. **59**, 599 (1974); Biochem. **16**, 2763 (1977); FEBS Lett. **87**, 107 (1978).

Определение молекулярной массы РНК в денатурирующих условиях:

Формамид: Nature, New Biol. **235**, 108 (1972); Biochem. **13**, 5373 (1974); EJB **62**, 313 (1976);
Мочевина: BBA **324**, 320 (1973); Virology **60**, 515 (1974);
Формальдегид: BBA **240**, 448 (1971);
Глиоксаль: PNAS **74**, 4835 (1977);
Метилртуть: Anal. Biochem. **70**, 75 (1976); Biochem. **16**, 4743 (1977);

Элюирование РНК из гелей: JMB **63**, 41 (1972); JMB **87**, 377 (1974); Anal. Biochem. **68**, 36 (1975); Anal. Biochem. **74**, 198 (1976); Aust. J. Biol. Sci. **31**, 25 (1978); FEBS Lett. **98**, 319 (1979).

ДНК: Anal. Biochem. **79**, 1 (1977); JMB **110**, 119 (1977); Nucleic Acids Res. **5**, 653 (1978); FEBS Lett. **87**, 107 (1978); Meth. Enzymol. **68**, 152 (1979); Meth. Enzymol. **65**, 299, 305, 319 (1980).

Определение молекулярной массы ДНК: Biochem. **12**, 3055 (1973); Biochem. **14**, 3787 (1975); JMB **110**, 119 (1977).

Элюирование ДНК из гелей: Anal. Biochem. **66**, 213 (1975); Anal. Biochem. **79**, 1 (1977); JMB **110**, 119 (1977); BBA **520**, 498 (1978); Gene **4**, 213 (1978); Meth. Enzymol. **68**, 176 (1979); Meth. Enzymol. **65**, 371, 499 (1980).

Разделение цепей ДНК: Virology **49**, 342 (1972); Anal. Biochem. **83**, 666 (1977); PNAS **74**, 560 (1977).

Б. Белки. Белки как в недиссоциированной, так и в денатурированной форме можно фракционировать с помощью электрофореза в поперечно-сшитых полиакриламидных гелях. Обычно работают и с трубками гелей, и пластинами (пластины гелей имеют преимущество: они обеспечивают лучшее сравнение образцов белков, а также удобны для радиоавтографии и флюорографии). См. работы [Methods in Virology **5**, 179 (1971); Gel electrophoresis of proteins: a practical approach, B. D. Hames, D. Rickwood (eds.), IRL Press, London (1981).

Методики: Nature **227**, 680 (1970); Methods in Virology **5**, 179 (1971); Meth. Enzymol. **22**, 412, 565 (1971); JMB **79**, 237 (1973); Meth. Enzymol. **91**, 190, 214 (1983); Anal. Biochem. **133**, 545 (1983).

Определение молекулярной массы: JBC **244**, 4405 (1969); Meth. Enzymol. **26**, 3 (1972) Meth. Enzymol. **48**, 3 (1978).

Белки с низкой молекулярной массой ($M_r < 10\,000$): Anal. Biochem. **39**, 462 (1971); Biochem. **15**, 2930 (1976); Anal. Biochem. **129**, 192 (1983).

Электрофорез нуклеопротеинов: J. Gen. Virol. **12**, 325 (1971); Virology **60**, 476 (1974).
Двумерный гель-электрофорез: Meth. Enzymol. **30**, 497–506 (1974); JBC **250**, 4007 (1975); Cell **12**, 1133 (1977); Anal. Biochem. **93**, 329 (1979); Meth. Enzymol. 91, 190 (1983).

Авторадиография и флюорография: Methods in Virology **5**, 179 (1971); EJB **46**, 83 (1974); FEBS Lett. **82**, 314 (1977); Virology **113**, 1 (1981); Anal. Biochem. **98**, 132 (1979).

Элюирование белков из гелей: Anal. Biochem. **77**, 168 (1977); Anal. Biochem. **128**, 7 (1983); Virology **123**, 284 (1982); Meth. Enzymol. **91**, 227, 263 (1983).

Метод «отпечатков пальцев» для белков, выделенных в ДСН-гелях: JBC **252**, 1102 (1977).

20. Бумажная и тонкослойная хроматография в биохимии. Методики разделения

1. Кислоты

ЛЕТУЧИЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

Летучие жирные кислоты в настоящее время в основном разделяют методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ). При использовании бумажной или тонкослойной хроматографии, почти всегда работают в растворителе, содержащем летучее основание, например NH_3, этиламин. В случае смешанного растворителя этанол–3 М NH_3 (95/6) типичны следующие значения R_f: муравьиная кислота 0,31, уксусная 0,33, пропионовая 0,44, масляная 0,54, валерьяновая 0,60, капроновая 0,68. Детекцию осуществляют pH-индикаторными методами. Метод обнаружения, основанный на получении солей тяжелых металлов и используемый в случае высших жирных кислот, неприменим, так как соли летучих жирных кислот слишком хорошо растворимы в воде.

1. Индикаторы.

Хроматограмму опрыскивают 0,04%-ным раствором бромокрезолового зеленого в этиловом спирте или воде; раствор индикатора должен иметь синюю окраску (pH 7,5), для чего добавляют NaOH. Анионы дают желтые, а катионы синие пятна на бледно-голубом фоне. При работе в качестве индикатора с раствором бромотимолового синего пятна проявляются на зеленом фоне. Чувствительность 5 мкг. Если растворитель содержал аммиак или этиламин, указанные цвета проявляются лишь в том случае, если перед опрыскиванием бумага была высушена при 95°С в течение 5 мин для разложения солей. При высушивании бумаги при комнатной температуре в течение короткого времени и последующем опрыскивании 2%-ным раствором бромокрезолового зеленого в этаноле, аммонийные или этиламмонийные соли дают синие пятна на зеленовато-желтом фоне.

2. Модифицированные методики.

1) Хроматограмму опрыскивают 0,04%-ным раствором бромокрезолового пурпурного в смеси формалин–EtOH (1 : 5) с pH 5 (при необходимости добавляют NaOH). Далее хроматограмму обрабатывают аммиаком. Кислоты дают желтые пятна на пурпурном фоне.

2) Хроматограмму опрыскивают 0,1%-ным водным раствором тимолового синего (раствор красителя должен иметь глубоко-синий цвет, что соответствует pH 10, при необходимости добавляют NaOH). Соли аммония дают желтые пятна на синем фоне.

ВЫСШИЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ

Для разделения высших жирных кислот в настоящее время чаще всего используют метод ГЖХ, хотя в случае геометрических изомеров ненасыщенных кислот для их идентификации обычно применяют ТСХ на пластинках, покрытых смесями кремневая кислота – $AgNO_3$.

1. Индикатор. Хроматограмму опрыскивают 0,4%-ным раствором бромотимолового синего в метилцеллозольве. Кислоты дают желтые пятна на синем фоне.

2. Липофильные красители. Хроматограмму опрыскивают 0,1%-ным раствором родамина В в воде или 0,5 М HCl. В УФ-свете жирные кислоты обнаруживаются по ярко-красной флуоресценции. Чувствительность $10 \div 100$ мкг. Используется также нильский синий, флуоресцентные индикаторы, хинин и акридиновый оранжевый.

3. Соли жирных кислот (мыла). Хроматограмму погружают в 1%-ный водный раствор ацетата свинца и промывают водой. После высушивания обрабатывают сероводородом. Кислоты дают коричневые пятна на белом или светлом желтовато-коричневом фоне. Таким образом можно

определять 0,5 мкг стеариновой кислоты. Вместо обработки сероводородом бумагу можно погрузить в насыщенный водный раствор калиевой соли родизоновой кислоты с последующим промыванием водой до полного исчезновения окрашивания промывных вод. В результате образуются пурпурные пятна родизоната свинца на светло-розовом фоне. Этот способ немного менее чувствителен, чем обработка сероводородом.

4. Взаимодействие по ненасыщенным связям. Хроматограмму опрыскивают 0,5%-ным раствором тетраоксида осмия. Ненасыщенные кислоты медленно проявляются черными пятнами. См. также разд. 5 «Липиды». Для определения ненасыщенных жирных кислот можно использовать и пары иода, поскольку насыщенные кислоты реагируют гораздо хуже.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТ, УЧАСТВУЮЩИХ В МЕТАБОЛИЗМЕ УГЛЕВОДОВ

Были описаны различные растворители, но наиболее частое употребление для бумажной хроматографии получила смесь *н*-пропанол – 2 М NH_3 (7:3). Значения R_f для кислот: лимонная и изолимонная 0,11, *цис-* или *транс*-аконитовые 0,14, щавелевая 0,17, винная 0,18, яблочная 0,20, янтарная 0,23, фумаровая 0,27, глутаровая 0,27, адипиновая 0,30, глицериновая 0,37, гликолевая 0,38, молочная 0,47, 2-гидроксимасляная 0,54.

ОБЩИЕ МЕТОДЫ

1. Индикаторы. После элюирования сильнокислыми хроматографическими растворителями бумагу высушивают в течение 1 ч при 60°С, а затем при комнатной температуре в течение 2 ÷ 3 ч. Опрыскивают 0,04%-ным раствором бромофенолового синего в 95%-ном этаноле (раствор красителя должен иметь пурпурный оттенок, pH 5, добавляют NaOH) или бромокрезоловым зеленым (синий оттенок). Несколько капель раствора аммиака, добавленных непосредственно перед опрыскиванием, обеспечивают лучшую контрастность хроматограммы. Определение с бромотимоловым синим имеет более низкий предел обнаружения, но окраска менее устойчива.

После элюирования щелочными растворителями, если кислоты разделяют в виде аммонийных солей, проводят по выбору следующие операции:

1) Хроматограмму нагревают до 95°С в течение 5 мин, а затем опрыскивают 0,04%-ным водным раствором хлорофенолового красного (pH 4,7). Анионы дают ярко-желтые пятна на розовато-лиловом фоне.

2) Хроматограмму опрыскивают раствором фенолового красного, (50 мг фенолового красного растворяют в смеси 20 мл 96%-ного EtOH + 2 мл 1 М NaOH; разбавляют до 100 мл H_2O). Кислоты дают ярко-желтые пятна на красном фоне.

2. Диметилглиоксим – биурет никеля. Хроматограмму сначала высушивают на воздухе, а затем тщательно обрабатывают паром для удаления даже следов летучего кислого растворителя. Далее погружают в а) 1%-ный раствор диметилглиоксима в 95%-ном этаноле; слегка подсушивают; б) опрыскивают свежеприготовленным щелочным раствором биурета никеля (1 г гептагидрата сульфата никеля растворяют в 50 мл H_2O, при нагревании растворяют 1 г биурета). Добавляют 10 мл 1 М NaOH, выдерживают 30 мин и фильтруют для удаления гидроксида никеля. Кислоты проявляются в виде устойчивых пятен от розовой до красной окраски на бесцветном фоне. Через 2 мин хроматограмму дважды промывают смесью 400-500 мл этанол – 0,88 NH_3 (1:1) в течение 2 мин. Чувствительность 10 мкг.

3. Меркурохром. Хроматограмму опрыскать 0,1%-ным раствором меркурохрома в этаноле. Кислоты дают белые пятна на розовом фоне или в УФ-свете фиолетовые пятна на зеленовато-желтом флуоресцирующем фоне.

4. Многократная обработка в случае смеси аминокислоты + кислоты + сахара. Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором нингидрина в бутиловом спирте, насыщенном водой, и высушивают при 70°С. Отмечают аминокислоты (1–5 мкг). Опрыскивают вторично 0,1%-ным раствором метилового красного в этаноле (с помощью NaOH pH красителя устанавливается таким, чтобы на бумаге раствор сразу давал оранжевое окрашивание). Хроматограмму высуши-

вают на воздухе. Органические кислоты (25 мкг) дают красные пятна. Проводят третье опрыскивание 3,5-динитросалицилатом (*см.* разд. «Углеводы»). Хроматограмму высушивают на воздухе, затем нагревают при 105°С пока не появятся черные пятна восстанавливающих сахаров (15 мкг). Хроматограмму можно хранить в темноте при комнатной температуре в течение 2 недель. Невосстанавливающие сахара дают серо-зеленые пятна (60 мкг).

5. Семикарбазидгидрохлорид. Хроматограмму опрыскивают 0,1%-ным раствором семикарбазидгидрохлорида в 0,15%-ном водном ацетате натрия; нагревают при 110°С. Свободные кетокислоты проявляются в УФ-свете в виде темных пятен на слегка флуоресцирующем фоне.

6. о-Фенилендиамин. Хроматограмму опрыскивают 0,05%-ным раствором *о*-фенилендиамина в 10%-ной водной трихлороуксусной кислоте; нагревают при 100°С в течение 2 мин. В УФ-свете α-кетосоединения обнаруживаются по желто-зеленой флуоресценции.

КИСЛОТЫ И ГИДРОКСИКИСЛОТЫ АРОМАТИЧЕСКОГО РЯДА

*7. 2,6-Дибромохинон-4-хлороимид**. Хроматограмму опрыскивают 0,33%-ным раствором 2,6-дибромохинон-4-хлороимида в безводной смеси диоксан–ацетон ((4 : 1); опрыскивают разбавленным аммиаком. Фенольные соединения дают синюю, зеленую и серую окраску.

8. Хлорное железо. Хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ в воде или насыщенным раствором безводного хлорного железа в безводном диоксане или хлороформе. Большинство фенольных соединений дает красно-фиолетовые пятна; производные пирокатехина – зеленые пятна.

9. Флуоресцирующие гидроксипроизводные. Хроматограмму опрыскивают 0,3%-ным раствором пероксида водорода. Влажную хроматограмму облучают УФ-светом. Через несколько минут некоторые ароматические кислоты дают синие флуоресцирующие пятна.

ТРИКАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

10. Реагент Фурта–Херманна. Хроматограмму опрыскивают смесью уксусная кислота – пиридин (1 : 9); нагревают 5 мин при 100°С. Трикарбоновые кислоты дают пятна от желтого до красного цвета, которые флуоресцируют в УФ-свете. Глюкуроновая и аскорбиновая кислоты дают желтые пятна; аконитовая – коричневые; итаконовая – оранжевые.

2. Альдегиды и кетоны

ОБНАРУЖЕНИЕ

1. 2,4-Динитрофенилгидразин. Хроматограмму опрыскивают 0,4%-ным раствором 2,4-динитрофенилгидразина в 2 М HCl. Карбонильные соединения дают желтые пятна, которые становятся красно-коричневыми при обработке 10%-ным NaOH, а α-дикарбонильные соединения дают пурпурную окраску.

2. Орцин. Хроматограмму опрыскивают раствором орцина (0,5 г орцина + 15 г трихлороуксусной кислоты; разбавляют *н*-бутанолом, насыщенным водой, до 100 мл). Альдегиды дают окрашенные пятна (окраска зависит от времени и температуры при высушивании, например 25°С и 5 ÷ 10 мин, 50°С и 1 или 10 мин, 100°С и 1 или 5 мин). Характерную окраску, в основном розовую, дает ванилин и другие ароматические альдегиды.

2,4-Динитрофенилгидразоновые производные летучих альдегидов и кетоиов

3. Гидроксид натрия. Хроматограмму опрыскивают 10%-ным раствором NaOH. Желтые пятна 2,4-динитрофенилгидразонов переходят в красно-коричневые.

---

* *Осторожно!* При температурах ⩾ 50°С взрывоопасен.

3. Амины

Невозможно привести исчерпывающий перечень растворителей, которые использовались для разделения аминов методами хроматографии на бумаге или в тонком слое, но наиболее пригодными оказались следующие: а) *н*-бутанол–уксусная кислота–вода (4 : 1 : 1 или 12 : 3 : 5); б) изопропанол – конц. NH_3 – вода (8 : 1 : 1 или 20 : 1 : 2); в) *трет*-амиловый спирт – 17%-ный водный метиламин (4 : 1); г) *втор*-бутанол – пиридин – уксусная кислота – вода (604 : 10 : 41 : 100); д) этанол – вода – NH_3 (18 : 1 : 1); е) метанол – вода – пиридин (20 : 5 : 1); ж) *трет*-бутанол – вода – метилэтилкетон – диэтиламин (10 : 10 : 5 : 1).

ОБНАРУЖЕНИЕ. ОБЩИЕ МЕТОДЫ

1. Визуальное наблюдение в коротковолновом (253 нм) и длинноволновом (366 нм) УФ-свете. К флуоресцирующим аминам относятся: кинуренин (светло-голубая флуоресценция); *о*-аминоацетофенон (светло-голубая); 3-гидроксикинуренин (зеленая); антраниловая кислота (пурпурная); аминосалициловая кислота (синяя); ксантоптерин (желто-зеленая); многие антибиотики и алкалоиды.

Другие соединения, содержащие ароматическое кольцо или конденсированную ароматическую систему, проявляются как черные пятна на слегка флуоресцирующем фоне.

В результате реакции первичного амина с флуорескамином (см. разд. «Аминокислоты») образуются соединения, дающие пятна с сильной флуоресценцией в УФ-свете (чувствительность 1 нмоль).

2. Индикаторы для обнаружения нелетучих оснований. Хроматограмму длительно выдерживают в потоке горячего воздуха для полного удаления основных и кислых растворителей; опрыскивают одним из следующих реагентов:

1) 0,05%-ный раствор бромокрезолового зеленого в 95%-ном этаноле (раствор красителя должен иметь зеленую окраску, что достигается добавлением разбавленного раствора NaOH до pH $6 \div 7$).

2) Смесь (1 : 1) насыщенных этанольных растворов метилового оранжевого и конго красного. Если пятна не проявились, обработать бумагу попеременно парами NH_3 и HCl.

3) 1%-ный раствор тетрафенилборнатрия в бутаноне, насыщенном водой. Хроматограмму высушивают, опрыскивают 0,015%-ным раствором 3-гидроксифлавона в метаноле (например, раствором физетина, кверцетина, гиперина или рутина). Окраска пятен от оранжевой до красной.

ПЕРВИЧНЫЕ АМИНЫ

3. Нингидрин. Для опрыскивания хроматограммы можно использовать один из следующих растворов на основе нингидрина:

1) 0,1%-ный раствор нингидрина в *н*-бутаноле, насыщенном водой, или в ацетоне. Хроматограмму нагревают при 105°C 5 мин.

2) 0,2%-ный раствор нингидрина в смеси изопропанол – пиридин (80 : 20). Хроматограмму нагревают при 105°C $2 \div 3$ мин. Алифатические амины дают сине-красные пятна, тирамин пурпурные, триптамин пурпурно-коричневые, гистамин красно-коричневые, норадреналин и 5-гидрокситриптамин коричневые.

3) 0,2%-ный раствор нингидрина в смеси абс. этанол – уксусная кислота – 2,4,6-коллидин (50 : 10 : 2). Непосредственно перед использованием 25 частей этого раствора смешивают с 1,5 частями 1%-ного раствора $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ в абс. этаноле. Хроматограмму опрыскивают этой свежеприготовленной смесью, высушивают при 105°C $1,5 \div 2$ мин. В случае смеси аминокислот получаются полихроматические пятна.

Нингидрин специфичен к алифатическим или алициклическим первичным аминогруппам. Вторичные, третичные и четвертичные амины, амиды и аминозамещенные ароматические соединения дают слабую реакцию или не дают вовсе. Исключение – пролин дает желтое пятно (по-видимому, благодаря раскрытию цикла). Аминокетоны первоначально дают желтую окраску, которая переходит в пурпурную.

4. о-Ацетоацетилфенол или 2-ацетоацетил-4-метилфенол. Хроматограмму опрыскивают

0,1%-ным раствором *о*-ацетоацетилфенола или 2-ацетоацетил-4-метилфенола в *н*-бутаноле. Первичные алифатические или алициклические амины обнаруживаются по яркой зеленовато-желтой флуоресценции в УФ-свете. Реактив не реагирует со вторичными аминами, первичными ароматическими аминами или аминокислотами.

ВТОРИЧНЫЕ АМИНЫ

5. Нитропруссид натрия – ацетальдегид. Непосредственно перед опрыскиванием смешивают равные объемы 5%-ного нитропруссида натрия в 10%-ном водном ацетальдегиде и 2%-ный раствор карбоната натрия. В другом варианте хроматограмму опрыскивают сначала раствором нитропруссид – ацетальдегид, а затем, когда бумага почти высохнет, 2%-ным раствором карбоната натрия. Вторичные амины проявляются в виде синих пятен.

6. Флуорескамин. Хроматограмму опрыскивют 0,05%-ным раствором флуорескамина в ацетоне; далее вымачивают последовательно в 0,1 М уксусной кислоте в ацетоне, а затем в 0,1 М растворе N-хлоросукцинимида в ацетоне; оставляют на 5 мин промываться в ацетоне и нагревают при 110°С $5 \div 10$ мин. Вторичные амины превращаются в первичные амины, которые реагируют с флуорескамином и флуоресцируют в УФ-свете (очень чувствительный метод).

ТРЕТИЧНЫЕ АМИНЫ, ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ АММОНИЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И АЛКАЛОИДЫ

7. Иодоплатинат. Смешивают 5 мл 5%-ного раствора хлорида платины в 1 М HCl с 45 мл 10%-ного иодида калия и 100 мл воды. Реагент надо беречь от света. После опрыскивания хроматограмму отмывают от избытка реагента водой. Для ТСХ может быть использована смесь (1 : 1) 0,3%-ный $PtCl_4$ + 6%-ный KI. На хроматограмме проявляются синие или черные пятна. Чувствительность 10 мкг.

8. Реактив Драгендорфа.

Раствор I. 17 г основного нитрата висмута и 200 г винной кислоты растворяют в 800 мл воды.

Раствор II. 160 г иодида калия растворяют в 400 мл воды.

Смешивают растворы I и II. Полученный реактив надо беречь от света. Для опрыскивания смешивают 50 мл раствора реактива, 100 г винной кислоты и 500 мл воды.

Алкалоиды проявляются на хроматограмме в виде оранжевых пятен (чувствительность ~5 мкг).

Изменение методики в случае ТСХ. Раствор реактива. 2,6 г карбоната висмута + 7 г иодида натрия + 25 мл уксусной кислоты; смесь нагревают до кипения и кипятят несколько минут. Оставляют на 12 ч. Осадок ацетата натрия отфильтровывают. 20 мл фильтрата смешивают с 8 мл этилацетата. Реактив надо хранить в посуде из темного стекла. Раствор для опрыскивания: смешивают 10 мл раствора реактива + 25 мл уксусной кислоты + 60 мл этилацетата.

Чувствительность можно повысить путем повторного опрыскивания $0,025 \div 0,5$ М H_2SO_4. Наиболее предпочтительная концентрация и количество кислоты должны быть установлены в пробном эксперименте.

9. Иод. В случае хроматографии на бумаге хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором иода в этаноле или обрабатывают парами иода.

ТСХ-пластинку обрабатывают 0,5%-ным раствором иода в хлороформе или парами иода.

Иод – довольно неспецифический реагент, который образует коричневые пятна со многими органическими веществами, но особенно с основаниями и липидами.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Многие реагенты, используемые для обнаружения конкретных аминов или групп аминов, реагируют не только с аминогруппами, но и с другими группами, и поэтому могут быть описаны и в других разделах. Чтобы избежать ненужного дублирования, в этот раздел включены лишь несколько реагентов, которые реже используются для обнаружения других классов соединений.

Этаноламин

10. Бензохинон. Хроматограмму опрыскивают раствором 0,5 г бензохинона в смеси 10 мл пиридина + 40 мл *н*-бутанола. Этаноламин дает коричнево-красные пятна при комнатной температуре. Серин слабо реагирует при 100°С, холин не реагирует совсем.

Холин

11. Фосфорномолибденовая кислота. Хроматограмму опрыскивают сначала 2%-ным водным раствором фосфорномолибденовой кислоты; промывают 5 мин большим объемом *н*-бутанола и далее проточной водой. Затем хроматограмму погружают в свежеприготовленный 0,4%-ный раствор хлорида олова в 3 М HCl. Пятна фосфомолибдата холина восстанавливаются до молибденового синего. Чувствительность 5 ÷ 10 мкг. Этот метод применим также и для сфингозина.

Методика для ТСХ. Пластинку опрыскивают сначала 1%-ным раствором фосфорномолибденовой кислоты в смеси (1 : 1) этанол – хлороформ; высушивают в течение 3 мин. Затем пластинку опрыскивают 1%-ным раствором хлорида олова в 3 М HCl; высушивают в течение 10 мин.

12. Феррицианид калия – хлорид кобальта. Хроматограмму опрыскивают 1%-ным водным раствором $K_4Fe(CN)_6$, затем опрыскивают 0,5%-ным водным раствором хлорида кобальта. Холин дает зеленые пятна. Чувствительность 10 мкг. Методика пригодна для ТСХ.

Эфиры холина

13. Гидроксиламин – хлорное железо.

Раствор гидроксиламина. а) 20 г $NH_2OH \cdot HCl$ растворяют в 50 мл воды и разбавляют до 200 мл 95%-ным этанолом. б) 50 г KOH растворяют в минимальном количестве воды и разбавляют до 500 мл 95%-ным этанолом. Смешивают 1 объем раствора а с 2 объемами раствора б и отфильтровывают осадок KCl. Смесь устойчива на холоду в течение 2 нед; лучше хранить при −10°С.

Раствор хлорного железа. 10 г тонкого порошка $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ растворяют в 20 мл конц. HCl. Встряхивают с 200 мл эфира до тех пор, пока не образуется гомогенный раствор.

Хроматограмму опрыскивают сначала раствором гидроксиламина, высушивают при комнатной температуре, затем опрыскивают раствором хлорного железа. Любой органический сложный эфир дает пурпурное пятно на желтом фоне. Для эфиров карбоновых кислот чувствительность 0,5 ÷ 2 мкг. Методика пригодна для ТСХ.

Имиды глутаровой кислоты, карбаматы, уреиды

14. Гипохлорит натрия. Раствор NaOCl, содержащий 10 ÷ 13% активного хлора, разбавляют 4 объемами воды. Хроматограмму опрыскивают и высушивают в потоке воздуха в течение 1 ч для удаления избытка хлора. Затем опрыскивают 2%-ным раствором крахмала, содержащим 1% KI. Появляются сине-черные пятна на бесцветном или бледно-голубом фоне.

***о*-Амииофенолы, иидолы**

15. Тест Уорозейна. Влажную хроматограмму обрабатывают «нитрозными парами», образующимися в стакане из $NaNO_2$ и HCl. *о*-Аминофенолы дают желтые пятна. Такую же реакцию дают индолы.

***о*-, *м*- и *п*-Аминофеиолы**

16. Аммиачный раствор нитрата серебра. Хроматограмму опрыскивают смесью (1 : 1) 0,1 М $AgNO_3$ и 5 М NH_3, приготовленной непосредственно перед использованием. Появляются темные пятна на светло-коричневом фоне.

17. Салициловый альдегид. Хроматограмму опрыскивают 1%-ным раствором салицилового альдегида в этаноле, содержащим 5% (об./об.) уксусной кислоты; высушивают при комнатной температуре. Появляются флуоресцирующие пятна.

Ароматические амины, сульфоамиды

18. Взаимодействие с солями диазония.

1) *Диазотированная сульфаниловая кислота.* См. метод в разд. 12 «Аминокислоты». Этот реагент использовался для обнаружения гистамина, тирамина, триптамина и 5-гидрокситриптамина. В случае некоторых фенолов окраска развивается после опрыскивания диазотированной сульфаниловой кислотой, в то время как у большинства – только после повторного опрыскивания щелочью.

2) *Диазотированный п-нитроанилин.* К исходному раствору 0,2%-ного *п*-нитроанилина в 1 М HCl (5 мл) добавляют 50 мл 0,1 М HCl, затем 1 мл 5%-ного $NaNO_2$. После обесцвечивания раствора его ставят на несколько минут на лед, и держат на холоду до момента опрыскивания. Сразу же после первого опрыскивания хроматограммы ее вторично опрыскивают ледяным 20%-ным раствором K_2CO_3. Метанефрин, норметанефрин, N-метилметанефрин, тирамин, горденин дают пурпурные пятна; *п*-симпатол и октопамин красные; 3-О-метилдопамин оливковые; фенилэтиламин и фенилэтаноламин малиновые; 5-гидрокситриптамин темно-красные. Этот реагент был также использован для обнаружения сульфонамидов.

3) *Диазотированный п-анизидин.* Смешивают равные объемы 1%-ного раствора *п*-анизидина в этаноле, содержащем 0,11 М HCl и 10% (об./об.) раствора амилнитрита в этаноле. Выдерживают несколько минут перед опрыскиванием. Хроматограмму высушивают в потоке воздуха. Слегка влажную бумагу обрабатывают парами NH_3 или опрыскивают этанольным раствором KOH.

Изменения методики: половину *п*-анизидина заменяют сульфаниламидом.

19. Диазотирование аминов на бумаге с последующей реакцией сочетания. Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором $NaNO_2$ в 0,1 М HCl или 0,1%-ным раствором $NaNO_2$ в уксусной кислоте, содержащей 0,05 мл конц. HCl на 100 мл (0,2%-ный раствор $NaNO_2$ в 10%-ной трихлороуксусной кислоте используют перед опрыскиванием реагентом 7). Ждут 1–3 мин, затем опрыскивают одним из следующих реагентов, вступающих в реакцию сочетания:

1) *N-Этил-α-нафтиламин.* 0,2%-ный раствор N-этил-α-нафтиламингидрохлорида в этаноле. Ароматические амины дают красно-фиолетовые пятна.

2) *N-(1-Нафтил)этилендиамин.* Хроматограмму опрыскивают 5%-ным раствором сульфамата аммония для разложения избытка нитрита, затем 1%-ным водным раствором N-(1-нафтил)этилендиамингидрохлорида. Пятна кинуренина пурпурные, триптофана желтые, 4-аминоимидазол-5-карбоксамида цвета фуксина, креатинина оранжевые, урокановой кислоты светло-коричневые, 2-аминогиппуровой кислоты пурпурные. Сульфонамиды дают интенсивно окрашенные соединения.

3) *Диметил-α-нафтиламин.* Хроматограмму опрыскивают 1%-ным водным раствором. Применяют для обнаружения сульфонамидов, которые дают красные или розовые пятна. Чувствительность 1 мкг.

4) *Щелочной раствор β-нафтола.* Хроматограмму опрыскивают 1%-ным раствором в 1 М NaOH. Аминофенолы дают пятна от красного до красно-фиолетового цвета. Этот реагент применяется также для обнаружения сульфонамидов.

Методика для ТСХ. Пластинку опрыскивают сначала 1%-ным раствором $NaNO_2$ в 1 М HCl, затем 0,2%-ным раствором β-нафтола в 1 М KOH; высушивают при 60°С.

5) *Фенол.* Хроматограмму опрыскивают 1%-ным раствором фенола в 1 М NaOH. *о*-Аминобензойная кислота дает оранжевую окраску; *м*- и *п*-аминобензойная кислота и сульфонамиды дают желтые пятна.

6) *Гексилрезорцин.* Хроматограмму опрыскивают 0,5%-ным раствором в 2 М NaOH. Ароматические амины дают пятна различной окраски.

7) *1-Амино-8-нафтол-5,6-дисульфоновая кислота.* Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором. Сульфонамиды дают красную окраску.

Индоламины

20. п-Диметиламинобензальдегид (реагент Эрлиха). Хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором *п*-диметиламинобензальдегида в 1,3 М HCl или 6 М HCl.

В более слабой кислоте ароматические амины проявляются немедленно, а индолы медленно. В более сильной кислоте окраска индолов проявляется быстро, но по мере удаления с бумаги избытка HCl в результате испарения постепенно появляются пятна ароматических аминов.

Изменения методики.

1) 2 г *п*-диметиламинобензальдегида (или *п*-диметиламинокоричного альдегида) растворяют в 80 мл 95%-ного этанола + 20 мл конц. HCl.

2) 0,1%-ный раствор *п*-диметиламинокоричного альдегида в 1 М HCl. *п*-Диметиламинокоричный альдегид более чувствителен, но менее специфичен, чем *п*-диметиламинобензальдегид. Пурпурное, красное или синее пятно, появляющееся сразу после опрыскивания реагентом Эрлиха, предположительно свидетельствует о присутствии вещества с индольным или пиррольным кольцом. Мочевина, ароматические амины, сульфонамиды, аллантоин, ксантуреновая и урокановая кислоты дают окраску от желтой до оранжевой.

21. Нингидрин – уксусная кислота. Хроматограмму погружают в 0,25%-ный раствор нингидрина в ацетоне, содержащем 10% (об./об.) уксусной кислоты. Нагревают 2–3 мин при 90–100°C.

Триптамин и 5-гидрокситриптамин дают сине-зеленые флуоресцирующие пятна. Очень чувствительный текст, способный обнаруживать 0,02 мкг 5-ГТ.

22. α-Нитрозо-β-нафтол. Хроматограмму опрыскивают сначала 0,1%-ным раствором α-нитрозо-β-нафтола в 95%-ном этаноле; высушивают; опрыскивают вторично смесью (4:100) 2,5%-ный $NaNO_2$ + 2 М HCl, приготовленной непосредственно перед опрыскиванием. Реагент специфичен к 5-гидроксииндолам; чувствительность 10–20 мкг.

23. Тетразотированный ди-о-анизидин. 100 мг тетразотированного ди-*о*-анизидина растворяют в 30 мл воды. Непосредственно перед опрыскиванием добавляют 20 мл боратного буфера (pH 9,0). Гидроксииндолы и ксантуреновая кислота дают синее окрашивание; индолы, индоксил, адренохром и многие ароматические амины не реагируют.

24. Формальдегид – HCl. Методика для ТСХ. Пластинку опрыскивают свежеприготовленной смесью 10 мл 35%-ного раствора формальдегида + 10 мл 25%-ной HCl + 20 мл этанола. Высушивают 5 мин при 100°C. Индолы образуют желтые или зеленые флуоресцентные пятна. Чувствительность реакции (0,005 ÷ 0,01 мкг) увеличивается при обработке парами конц. HCl – конц. HNO_3 (3:1).

КАТЕХОЛАМИНЫ

При хроматографии катехоламинов в первую очередь следует учитывать их тенденцию к окислению, особенно при pH > 6. По этой причине следует избегать применения растворителей с основными свойствами. Чаще всего используют фенол и *н*-бутанол с добавками водных растворов различных кислот. Хроматографию проводят в атмосфере SO_2, CO_2 или азота, особенно если в качестве растворителя используют фенол, а в качестве дополнительной защиты от окисления бумагу перед употреблением можно обработать разбавленным раствором аскорбиновой кислоты (50 мг/100 мл).

Катехоламины могут образовывать комплексы или соединения с трихлороуксусной или молочной кислотой при обработке тканевых экстрактов; эти комплексы и соединения могут проявляться на хроматограммах в виде отдельных пятен.

Рекомендуется ацетилировать катехоламины перед их разделением хроматографией на бумаге или ТСХ.

Методы обнаружения катехоламинов на бумажных хроматограммах делятся на три группы: 1) основанные на окислении их до окрашенных «хромов» (например, адренохрома) и продуктов их разложения; 2) основанные на образовании флуоресцирующих продуктов конденсации с формальдегидом или этилендиамином и 3) основанные на реакциях молекул, содержащих фенольную

или аминогруппу, или их восстановительных свойствах. Реакции третьей группы в общем менее специфичны и чувствительны, и, поскольку соответствующие реагенты (аммиачный раствор нитрата серебра, хлорное железо, соли диазония и др.) описаны в других разделах, они здесь не рассматриваются.

25. Феррицианид калия. Носитель опрыскивают 0,44%-ным раствором $K_3Fe(CN)_6$ в 0,2 М фосфатном буфере (pH 7,8) или, если хроматографию проводили в кислом растворителе, в 0,2 М Na_2HPO_4 (pH 8,3). Окраску можно усилить обработкой парами аммиака. Адреналин дает сначала розовое пятно, переходящее затем в желтое, норадреналин сначала бледно-лиловое, затем коричневое, а допамин бледно-лиловое пятно. Предел обнаружения 2 мкг. Меньшие количества можно определять по зеленой флуоресценции в УФ-свете.

N-Метиладреналин при окислении не дает окрашивания, так как невозможно замыкание индольного кольца, но в результате восстановления обесцвечивается феррицианид, который может быть идентифицирован путем добавления очень разбавленного раствора сульфата меди, что приводит к появлению красного окрашивания. Окружающий его невосстановленный феррицианид при этом становится коричневым.

Образование ферроцианида может быть продемонстрировано реакцией образования берлинской лазури. Хроматограмму опрыскивают раствором, содержащим 5 г безводного сульфата железа(III) и 75 мл 85%-ной H_3PO_4 на 1 л. Эта реакция, указывающая в основном на присутствие восстановителя, менее специфична, чем появление окраски, наблюдаемое после единственного опрыскивания феррицианидом.

26. Обработка парами аммиака. Адреналин обнаруживается по ярко-зеленой флуоресценции в УФ-свете. Чувствительность 10 мкг.

27. Обработка парами иода и аммиака. Адреналин и норадреналин дают ярко-красные пятна, переходящие в коричневые. Чувствительность ~ 25 мкг/3 см^2.

28. Иод. Методика для ТСХ. Пластинку опрыскивают раствором 0,5 г иода в 100 мл хлороформа и наблюдают флуоресценцию в УФ-свете. Чувствительность 0,005 мкг.

29. Иодат калия. Хроматограмму опрыскивают 1%-ным водным KIO_3; нагревают при 100–110°C в течение $\leqslant 2$ мин. Этот тест, как и два предыдущих, основан на образовании иодохромов. Адреналин (1 мкг) дает сначала розовое пятно, переходящее затем в коричневое, норадреналин (2 мкг) фиолетовое, затем коричневое, допамин оранжево-коричневое пятно, изопропилнорадреналин красное, эпинин оранжевое.

30. Феррицианид – формальдегид. Хроматограмму опрыскивают свежеприготовленной смесью (9 : 1) 0,66%-ного $K_3Fe(CN)_6$ + 40%-ный формальдегид; нагревают при 100°C в течение 5 мин. Согласно другой методике, смесь $K_3Fe(CN)_6$ – формальдегид готовят в 0,6 М фосфатном буфере (pH 5,9).

Адреналин, норадреналин, допамин, изопропилнорадреналин и эпинин дают пятна от красного до пурпурного цвета (чувствительность 1–2 мкг), которые обнаруживают желто-зеленую флуоресценцию в УФ-свете (чувствительность 0,2 мкг).

31. Феррицианид (или иод) с последующей обработкой реагентом Эрлиха. После окисления катехоламинов до индолов в результате реакции с реагентом Эрлиха образуются пигменты синего цвета.

Первое опрыскивание: 0,2% раствором $K_3Fe(CN)_6$ в воде или 0,0005 М раствором иода в 0,2 М ацетатном буфере (pH 6) или 0,005 М иодом в 0,6 М фосфатном буфере (pH 5,9). Высушивают в потоке холодного воздуха в течение 3–5 мин.

Второе опрыскивание: раствором 4 г *п*-диметиламинобензальдегида в 380 мл этанола + 80 мл конц. HCl. Предел обнаружения 0,2 мкг адреналина или норадреналина.

32. Этилендиамин – аммиак. Хроматограмму опрыскивают смесью (2 : 8) перегнанный этилендиамин + 2 М или 10%-ный (масс./об.) аммиак. Катехоламины, а также другие производные катехина дают пятна от желтого до коричневого цвета, характеризующиеся ярко желтой флуоресценцией в УФ-свете. Чувствительность 0,1 мкг адреналина.

33. Феррицианид (или иод) – этилендиамин. Эта комбинация предназначена для ускорения стадии окисления, предшествующей конденсации с этилендиамином, и таким образом сводит к минимуму побочные реакции.

Хроматограмму опрыскивают раствором 0,1%-ного $K_3Fe(CN)_6$ или 0,05 М I_2 в 5%-ном (об./об.) водном этилендиамине. Высушивают в течение 5 мин при 50°С.

Растворы для погружения. Хроматограмму погружают в 1%-ный раствор иода в тетрахлориде углерода, промокают и, не дожидаясь полного высыхания бумаги, погружают в 1%-ный раствор этилендиамина в изопропаноле, вновь промокают и высушивают при комнатной температуре в течение 24 ч. Чувствительность 0,05 мкг катехоламинов.

Катехоламинтриацетаты

34. Хлорное железо – феррицианид калия. Хроматограмму опрыскивают сначала 10%-ным KOH в смеси (1 : 1) метанол – вода; затем свежеприготовленной смесью 1%-ный $FeCl_3$ + 2%-ный $K_3Fe(CN)_6$.

35. Реагент тетразолиевый синий. Хроматограмму опрыскивают сначала 10%-ным раствором KOH в смеси (1 : 1) метанол – вода, затем 0,2%-ным водным раствором трифенилтетразолийхлорида.

36. ТСХ катехоламинтриацетата. Хроматограмму опрыскивают 40%-ным раствором H_3PO_4, нагревают в течение 7 мин при 110°С, затем опрыскивают 5%-ным раствором фосфорномолибденовой кислоты в этаноле и нагревают в течение 2 мин при 110°С.

Другая методика. 3 г ванилина растворяют в 100 мл абс. этанола и по каплям добавляют 3 мл конц. H_2SO_4. Пластинку опрыскивают и нагревают при 110°С в течение 7 мин.

4. Аминокислоты и пептиды

Аминокислоты и пептиды можно легко разделить на бумаге или в тонком слое целлюлозы, используя небольшие количества материала. В табл. 20.1 приведены примеры растворителей различных типов или буферов для ионофореза, при использовании которых достигается разделение аминокислот при одномерном фракционировании. Неопределенности могут быть разрешены в результате проведения хроматографии или ионофореза при других pH во втором (перпендикулярном) направлении.

Обнаружение. Некоторые групповые реагенты на аминокислоты не нарушают структуры последних, что позволяет в дальнейшем осуществлять их количественное определение, а также проводить повторное разделение пятен.

В описанных ниже методиках более предпочтительно хроматограмму погружать в реактив (а не опрыскивать), так как при этом достигается более равномерное окрашивание. Однако часто можно использовать и тот и другой приемы; приходится отказаться от погружения, если хроматографируемые вещества растворимы в реагентах, например, если последние представляют собой водные растворы.

Таблица 20.1. R_f для аминокислот при разделении методом хроматографии на бумаге и подвижности при разделении электрофорезом

Аминокислота	R_f				Подвижность (в направлении к катоду), см (45 мин, 40 В/см; 8%-ная муравьиная кислота pH 1,6)
	н-бутанол + + уксусная кислота + + H_2O (12:3:5)	фенол, насыщенный H_2O	Фенол, насыщенный H_2O + + этанол + + H_2O (15:4:1)	*н*-бутанол + + пиридин + + H_2O (1:1:1)	
Аланин	0,30	0,58	0,41	0,37	47
γ-Аминомасляная кислота	0,40	0,78	0,56	0,26	59
Аргинин	0,15	0,83	0,66	0,15	59
Аспарагин	0,12	0,40	0,22	0,20	35
Аспарагиновая кислота	0,23	0,20	0,06	0,20	26
Валин	0,51	0,78	0,62	0,48	39
Гидроксипролин	0,22	0,67	0,44	0,30	31
Гистидин	0,11	0,65	0,50	0,24	58
Глицин	0,23	0,42	0,26	0,29	53
Глутамин	0,17	0,27	0,29	0,23	33
Глутаминовая кислота	0,28	0,33	0,12	0,20	33
Изолейцин	0,67	0,85	0,71	0,56	36
Лейцин	0,70	0,85	0,73	0,60	36
Лизин	0,12	0,42	0,57	0,13	64
Метионин	0,50	0,82	0,62	0,53	36
Метионинсульфон	0,22	0,60	0,55	0,31	–
Пролин	0,34	0,90	0,75	0,34	40
Серин	0,22	0,35	0,22	0,33	41
Таурин	0,20	0,35	0,28	0,38	8
Тирозин	0,45	0,60	0,43	0,60	30
Треонин	0,26	0,48	0,33	0,36	38
Триптофан	0,50	0,77	0,58	0,62	25
Фенилаланин	0,60	0,84	0,72	0,63	33
Цистеин	0,08	0,22	0,05	0,14	–
Цистеиновая кислота	0,07	0,06	0,05	0,26	1
Цистин	0,05	0,15	0,16	0,15	36
Этаноламин	0,38	0,72	0,83	0,43	73

ГРУППОВЫЕ РЕАГЕНТЫ

1. Нингидрин.

1) В качестве группового локализующего агента применяется 0,25%-ный (масс./об.) раствор нингидрина в ацетоне. Пятна можно проявлять нагреванием при 100°С в течение 5 мин или с целью получения более светлого фона выдерживанием при комнатной температуре в течение нескольких часов. Аминокислоты дают пурпурные пятна; гистидин и глицин красно-серые; фенилаланин, тирозин и аспарагиновая кислота синие; триптофан коричневые; аспарагин грязно-желтые; пролин желтые. Чувствительность варьирует в диапазоне от 0,2 мкг для глицина до 2 мкг для гистидина.

2) Для идентификации по окраске используют смесь 50 мл 0,1%-ного раствора нингидрина в этаноле + 2 мл коллидина. В некоторых работах рекомендуется добавлять 10 мл CH_3COOH. Чем ниже чистота коллидина, тем лучше окраска. Хроматограмму нагревают, наблюдая за развитием

окраски. Окраску, даваемую каждой аминокислотой, лучше всего определить экспериментально, но следует особо отметить, что тирозин меняет окраску через несколько секунд после ее появления, и пятна многих других аминокислот спустя несколько минут приобретают пурпурную и синюю окраску.

3) Некоторые исследователи предпочитают измененный вариант методики 1 (или 2), с участием иона меди. Это диктуется необходимостью достичь такого различия в окраске, чтобы можно было идентифицировать все аминокислоты.

Готовят два раствора: 1) 0,2%-ный раствор нингидрина в 50 мл этанола + 10 мл уксусной кислоты + 2 мл коллидина; 2) 1%-ный раствор $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$. Хроматограмму опрыскивают свежеприготовленной смесью 25 мл раствора 1 и 1,5 мл раствора 2; высушивают и нагревают в течение 1,5–2 мин при 105°С. Таким же образом обрабатывают пластинки ТСХ. Пластинки высушивают, опрыскивают реагентом и подогревают так, чтобы за окраской можно было наблюдать по мере ее появления.

4) Для обнаружения N-метиламинокислот (которые обычно дают очень слабую окраску с нингидрином) в присутствии свободных аминокислот используют специальный реагент. Смешивают равные объемы 0,33%-ного раствора нингидрина в *трет*-бутаноле и смеси ледяная уксусная кислота – вода – пиридин (1 : 5 : 5). Опрыскивают и нагревают 10–15 мин при 100–110°С. Первичные амины и N-метиламинокислоты дают пурпурные пятна сравнимой интенсивности. При опрыскивании водным раствором нингидрина, приготовленным путем растворения нингидрина в *н*-бутаноле, насыщенном водой и содержащем 2% уксусной кислоты, N-метиламинокислоты дают пятна слабой интенсивности.

Окрашенная нингидрином бумага выцветает под действием воздуха и света. Для более длительного сохранения окраски можно дополнительно опрыскать реагентом, содержащим $Cu(NO_3)_2$. К 1 мл насыщенного раствора $Cu(NO_3)_2$ добавляют 0,2 мл 10%-ной HNO_3 и доводят до 100 мл 95%-ным этанолом. Лучше всего бумагу покрыть пленкой, погрузив ее в насыщенный раствор полиметилметакрилата в хлороформе.

2. Флуорескамин. Этот реагент реагирует с первичными аминогруппами аминокислот и пептидов. Хроматограмму опрыскивают 0,05%-ным раствором флуорескамина в ацетоне и наблюдают флуоресцирующие пятна. Предварительное и последующее опрыскивание хроматограммы 10%-ным раствором триэтиламина в метиленхлориде повышает чувствительность методики (1 нмоль), а также устойчивость образующихся флуоресцирующих пятен. Пятна пролина и гидроксипролина медленно проявляются при нагревании в течение 3 ч при 110°С или через два дня при комнатной температуре. В другом варианте методики бумагу или пластинку, обработанную флуорескамином, вымачивают последовательно в 0,1 М растворе уксусной кислоты в ацетоне и 0,1 М растворе N-хлоросукцинимида в ацетоне. Выдерживают 5 мин, промывают ацетоном и нагревают 5–10 мин при 110°С.

3. Изатин. См. также «Иминокислоты» (пролин и гидроксипролин), разд. *22*.

Один из недостатков нингидрина состоит в том, что пролин может быть легко «замаскирован» пятнами других аминокислот. Были описаны два реагента, лишенные этого недостатка и в то же время обеспечивающие широкий диапазон цветов при хроматографическом определении аминокислот.

1) 1 г изотина + 1,3 г ацетата цинка растворяют в 70–80 мл нагретого изопропанола. По охлаждении добавляют 1 мл пиридина.

2) 1 г изатина + 1,5 г ацетата цинка растворяют в 93 мл нагретого изопропанола + 3 мл воды. По охлаждении добавляют 1 мл ледяной уксусной кислоты.

Эти реагенты дают наборы пятен, слегка различающиеся по окраске. В обоих случаях хроматограмму опрыскивают, высушивают и прогревают при 80–85°С в течение 10 мин. Фон может быть отмыт без изменения окраски аминокислотных пятен быстрым ополаскиванием хроматограммы водой.

4. УФ-свет

1) Аминогруппы могут реагировать со свободными альдегидными группами, содержащимися в бумаге. Образующиеся основания Шиффа дают синюю флуоресценцию в УФ-свете. Хроматограмму нагревают при 100°С в течение 30 мин. N-Замещенные аминокислоты дают темные пятна.

Чувствительность немного ниже, чем при использовании нингидрина, некоторые аминокислоты могут разрушаться.

2) Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором салицилового альдегида в ацетоне. Образующиеся основания Шиффа могут разлагаться при опрыскивании водой и под действием воздуха.

3) Хроматограмму пропитывают 0,01%-ным раствором 1,2-нафтохинон-4-сульфоната (реагент Фолина) в метаноле. Нагревают при 110–120°C в течение 10 мин.

5. Иод. Метод, не вызывающий разрушения аминокислот, но неспецифичный. Бумагу или тонкослойную пластинку обрабатывают парами I_2 (от нескольких кристаллов) в стеклянном сосуде. Через 10–30 с хроматограмму вынимают и отмечают карандашом быстро исчезающие коричневые пятна. В другом варианте: бумагу можно опрыскать петролейным эфиром (фракция с $t_{кип}$ 60 ÷ 80°C), насыщенным I_2.

6. Хлор. Пригоден для определения аминокислот, N-блокированных аминокислот *(см.)* и пептидов *(см.)*. Тест специфичен для соединений, содержащих связь N—C, поэтому такие растворители, как пиридин и коллидин, должны быть удалены. Бумагу или тонкослойную пластинку промывают эфиром, а затем смесью (1:1) ацетон–этанол (в этих растворителях аминокислоты и пептиды нерастворимы). Обрабатывают в течение 5 мин Cl_2, для чего помещают над ванночкой, в которой находятся равные объемы насыщенного раствора $KMnO_4$ и 10%-ной HCl. Хроматограмму вынимают, проветривают для удаления избытка Cl_2 и погружают в смесь равных объемов насыщенного раствора *о*-толидина* в 2%-ной уксусной кислоте и 0,05 М раствора KI. На светлом фоне возникают сине-черные пятна. Фон может быть уменьшен, если бумагу, обработанную хлором, перед помещением в раствор *о*-толуидина обработать в течение 10 с парами аммиака.

N-хлоропроизводные могут также образоваться при опрыскивании 1%-ным раствором *трет*-бутилгипохлорита [Org. Syn. **32**, 1–20] в циклогексане, а затем 1%-ным раствором крахмала в 1%-ном KI. Чувствительность для различных аминокислот варьирует. Метионин, цистеин, цистин и тирозин практически совсем не обнаруживаются.

D-АМИНОКИСЛОТЫ

7. D-Аминокислотная оксидаза (для определения D- и L-аминокислот). Получают две одинаковые бумажные хроматограммы. Одну из них опрыскивают раствором D-аминокислотной оксидазой в 0,06 М пирофосфатном буфере (pH 8,3). Инкубируют 2,5 ч при 37°C в атмосфере влажного кислорода. Высушивают и опрыскивают обе хроматограммы нингидрином. На обработанной бумаге останутся только L-аминокислоты и глицин. В другом варианте α-кетокислоты *(см.)*, образующиеся из D-аминокислот, могут быть определены при опрыскивании 2,4-динитрофенилгидразином.

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ

Если по каким-либо причинам невозможно идентифицировать пятно по его положению и окраске с использованием общих тестов, существуют реагенты, специфичные к одной аминокислоте или группе аминокислот.

Тирозин

8. α-Нитрозо-β-нафтол. Хроматограмму погружают в 0,1%-ный раствор α-нитрозо-β-нафтола в ацетоне; высушивают при комнатной температуре. Затем погружают ее в ацетон, к которому добавлено 10% (об.) конц. HNO_3; высушивают и постепенно прогревают, начиная с одной стороны так, чтобы можно было следить за появлением пятен на хроматограмме. Желтый цвет бумаги светлеет в участке, который достаточно прогрет. Тирозин определяется по красной

---

* *Осторожно!* *о*-Толидин относится к канцерогенам. Замена его на смесь 1%-ный крахмал – 1-ный KI приводит лишь к незначительному ухудшению результатов.

окраске, чувствительность ~ 1 мкг. Триптофан дает окраску от серой до коричневой с меньшей чувствительностью. Фенол и коллидин следует удалять промыванием смесью (1:1) ацетон – диэтиловый эфир. Тирозин определяют также с помощью теста Паули (*см.* ниже «Гистидин»).

Триптофан и родственные соединения

9. Реагент Эрлиха.

1) Хроматограмму погружают в 1%-ный (масс./об.) раствор *п*-диметиламинобензальдегида в смеси (9:1) ацетон – конц. HCl; выдерживают при комнатной температуре несколько минут. Триптофан дает пурпурное пятно, пирролы и родственные соединения дают красные пятна.

2) Можно также опрыскать хроматограмму 2%-ным раствором *п*-диметиламинобензальдегида в 5%-ной HCl и затем высушивать при комнатной температуре. Триптофан дает пурпурную окраску, ароматические амины и цитруллин желтую, гидроксикинуренин, кинуренин и 2-амино-3-гидроксиацетофенон оранжевую.

10. УФ-облучение.

1) Бумагу высушивают при комнатной температуре. Наблюдают в УФ-свете. Триптофан или совсем не дает окрашивания или дает очень слабое окрашивание (что обусловлено наличием продуктов распада, и обычно соответствующее им пятно расположено немного впереди истинного). Некоторые родственные соединения хорошо видны в результате взаимодействия с бумагой, например кинуренин (синее окрашивание); кинуреновая кислота (сине-зеленое); гидроксикинуреновая кислота (зеленовато-желтое); аминоацетофенон (небесно-голубое); 2-амино-3-гидроксиацетофенон (желтое); ксантуреновая кислота (синее); антраниловая кислота (сине-фиолетовое); гидроксиантраниловая кислота (небесно-голубое). Ароматические растворители иногда мешают.

2) Хроматограмму опрыскивают смесью (6:1) хлорная кислота (70 ÷ 72%-ная) – вода*. Триптофан в течение 10 мин дает устойчивую и интенсивную зелено-синюю флуоресценцию. Последующее опрыскивание 1%-ным раствором $FeCl_3$ дает красновато-желтую окраску. Индолуксусная кислота в этом тесте обнаруживает слабую розоватую флуоресценцию.

11. Терефталевый альдегид в кислой среде. Опрыскивают 0,2%-ным раствором терефталевого альдегида в ацетоне, содержащем 10% уксусной кислоты. Хроматограмму прогревают при 105°C в течение 3 мин. Триптофан дает синее пятно, триптамин желто-зеленое. Этот реагент чрезвычайно чувствителен. (См. также ниже «Гистидин», разд. 13).

Гистидин

12. Реагент Паули. Раствор *1* (1%-ная сульфаниловая кислота в 1 М HCl) и раствор *2* (5%-ный водный раствор $NaNO_2$) выдерживают в холодильнике. Равные объемы этих растворов смешивают (также на холоду) за 5 мин до использования. Осторожно, чтобы не смыть пятна, опрыскивают бумагу. Затем опрыскивают 15%-ным раствором Na_2CO_3. Гистидин и другие имидазолы сразу дают красную окраску. Окрашенные пятна с меньшей чувствительностью дают также гистамин (розово-коричневое); тирозин (розовое); ксантин, дииодотирозин (оранжевое); тиамин, триптофан, горденин, гидроксикинуренин (оранжево-красное); аденин (розовое); гуанин (оранжево-пурпурное); катехин (пурпурное); эрготионин (красное); тиолгистидин (светло-оранжевое).

Для уменьшения мешающего влияния тирозина методику можно изменить. Хроматограмму опрыскивают 0,1%-ным раствором *п*-анизидина в смеси (1:1) этанольных растворов 0,11 М HCl – 10%-ный амилнитрит. Высушивают на воздухе при комнатной температуре. Опрыскивают 1%-ным KOH в этаноле. Перекристаллизованный *п*-анизидин может «не работать».

Удерживаемые бумагой другие растворители, такие, как фенол и коллидин, должны быть отмыты ацетоном и эфиром.

13. Терефталевый альдегид. Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором терефталевого альдегида в ацетоне. Прогревают при 105°C в течение 10 мин. Гистидин дает желто-зеленое

* Смесь воспламеняется, взрывоопасна.

пятно. Триптофан дает коричневое пятно в УФ-свете. Реагент очень чувствителен, особенно для гистидина.

Фенилаланин

14. Нингидрин – $NaHCO_3$. Хроматограмму прокрашивают нингидрином (см. выше «Групповые реагенты», разд. 1, пункт 1). При опрыскивании нагретой бумаги разбавленным (0,15 ÷ 10%) раствором $NaHCO_3$ устойчиво только пятно фенилаланина.

Серусодержащие аминокислоты

15. Тетраиодид платины.

1) Хроматограмму погружают в раствор 0,002 М платинохлороводородная кислота – 1 М KI – 2 М HCl – ацетон (4:0,25:0,4:76). После высушивания при комнатной температуре окраску усиливают путем обработки парами HCl. Цистин, цистеин, метионин, цистатионин, лантионин, дьенколевая кислота, метионинсульфоксид и другие дают бесцветные пятна на розовом фоне. В случае использования в качестве растворителя фенола или коллидина бумагу следует сначала промыть смесью (1:1) ацетон – эфир.

2) Для бóльшей контрастности хроматограммы (темно-коричневый фон) 0,002 М раствор H_2PtCl_6 можно заменить на 0,002 М раствор $PdCl_2$ в 0,1 М HCl.

16. Азид – иод. Хроматограмму опрыскивают 0,025 М раствором I_2 в 50%-ном этаноле, содержащем 1,5% NaN_3. На светло-коричневом фоне моментально проявляются белые пятна цистеина, затем (через 15 мин) цистина, далее (через 60 мин) метионина. Пятна лучше видны в УФ-свете. Этот реагент позволяет обнаруживать также тиамин.

17. Нитропруссид. Реагент а. Смешивают 1,5 г нитропруссида натрия в 5 мл 1 М H_2SO_4 + + 95 мл MeOH + 10 мл 28%-ного NH_3. Фильтруют. Хроматограмму погружают в этот раствор. SH-соединения дают красную окраску. Еще влажную бумагу погружают в раствор *б* (2%-ный раствор NaCN в 95%-ном MeOH). Расщепление связей —S—S— этим реагентом вызывает появление красной окраски через промежуток времени от нескольких секунд до 10 мин. Для цистина чувствительность 1 мкг. Если нет необходимости определять SH-соединения, используют равные объемы растворов *а* и *б* с концентрацией в 2 раза выше. Аргинин при этом дает оранжевое пятно на бледно-желтом фоне, переходящее в серо-синее на интенсивно-зеленом фоне.

Глицин

18. о-Фталевый альдегид. Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором *о*-фталевого альдегида в ацетоне. Прогревают при 50°С в течение 10 мин. Глицин дает зеленое пятно, в УФ-свете при 365 нм шоколадно-коричневое; NH_4^+-ион – темно-серое пятно; гистидин и триптофан – интенсивно желтая флуоресценция при 365 нм. Этот реагент нельзя использовать после хроматографирования в ароматических растворителях.

Аргинин

19. Реакция Сакагучи. Хроматограмму погружают в 0,1%-ный раствор 8-гидроксихинолина в ацетоне. Высушивают на воздухе. Тщательно опрыскивают раствором 0,2 мл Br_2 в 100 мл 0,5 М NaOH. Аргинин и другие гуанидины дают оранжево-красные пятна; тауромицин и гликоциамин – лишь временную окраску.

Гуанидины

20. α-Нафтол – диацетил. Хроматограмму опрыскивают свежеприготовленной смесью 0,1 мл диацетила + 15 мл 1%-ного α-нафтола в 6%-ном растворе NaOH. Оставляют на 2–10 мин. Гуанидин дает сине-фиолетовые пятна на бежевом фоне; для его дизамещенных (например, креатин) и монозамещенных (например, аргинин, гликоциамин) производных чувствительность ниже. Креатинин не реагирует.

Орнитин

21. Ванилин. Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором ванилина в ацетоне, а затем 0,1%-ным раствором KOH в этаноле. Прогревают при 110°C в течение 10 мин. Орнитин дает красное пятно, аналогично реагируют пролин и гидроксипролин.

Иминокислоты (пролин и гидроксипролин)

22. Изатин.

1) Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором изатина в *н*-бутаноле, содержащем 4% уксусной кислоты. Прогревают при 105°C в течение 15 мин. Пролин и гидроксипролин дают устойчивые пятна (синие); также устойчивы пятна пипеколиновой кислоты (сине-зеленые). Многие аминокислоты дают окраску в этом же диапазоне цветов, которая исчезает при комнатной температуре через несколько часов.

Чтобы получить синие пятна только пролина и гидроксипролина, бумагу промывают после проявления в 1 М HCl, а затем в воде.

2) Чтобы различить пролин и гидроксипролин, хроматограмму погружают сначала в описанный выше раствор, а затем в реагент Эрлиха (см. выше разд. 9). Все цвета, даваемые изатином исчезают, кроме окраски гидроксипролина, которая переходит из синей в светло-вишневую.

Многократное прокрашивание

За опрыскиванием нингидрином может следовать опрыскивание α-нитрозо-β-нафтолом или реагентом Эрлиха. За ним могут также следовать реагенты, дающие пониженную чувствительность обработки (реагент Паули или Сакагучи). Изатину может предшествовать нингидрин или за изатином может следовать реактив Эрлиха или α-нитрозо-β-нафтол (чувствительность последнего теста при этом снижается). За реактивом Эрлиха может следовать обработка по Сакагучи, даже если предшествующими операциями были опрыскивание нингидрином или изатином. УФ-облучение и обработка иодом не мешают проведению любых последующих тестов.

ПРОИЗВОДНЫЕ АМИНОКИСЛОТ

ДНФ-аминокислоты

1. Визуальное наблюдение. Очень небольшие количества этих соединений можно идентифицировать по их желтой окраске. Их можно отличить от динитрофенола с помощью УФ-света (пятна динитрофенола гораздо темнее, чем остальные).

Фенилтиогидантоины и гидантоины

2. Иод – азид. Перед хроматографией бумагу погружают в 0,5%-ный раствор крахмала и высушивают. После проведения хроматографии высушивают при комнатной температуре и опрыскивают смесью равных объемов 0,01 М I_2 в 0,5 М KI и 0,5 М азида натрия. Фенилтиогидантоины и гидантоины дают светлые пятна на темном фоне.

«Данснл»-аминокислоты

3. УФ-свет. Чрезвычайно малые количества «дансил»-аминокислот можно увидеть в УФ-свете в виде желтых пятен. Дансил-OH дает сине-зеленое пятно.

Пептиды

Разделение. Электрофорез предпочтительнее хроматографии, так как приводит к более четким пятнам и в меньшей степени зависит от изменения условий. Разделение проводят при нескольких значениях pH, включая pH 1,9 (основные группы полностью ионизованы, почти все

карбоксильные группы недиссоциированы, сульфонильная группа несет частичный заряд); pH 3,5 (концевая карбоксильная группа и карбоксилы аспарагиновой и глутаминовой кислот практически не заряжены, величина заряда зависит от природы соседних групп); pH 6,5 (все карбоксилы, за редким исключением, полностью заряжены, большинство α-NH_2-групп полностью заряжены, основные боковые группы полностью заряжены, кроме гистидина, заряд которого зависит от природы соседних групп). Обычно в качестве растворителя используется система бутанол–уксусная кислота–вода (3:1:1 – в большинстве случаев, 4:1:5 – обеспечивает лучшее разделение основных пептидов, но более «капризна»).

Часто целесообразно при разделении комбинировать электрофоретический и хроматографический методы. Для препаративных целей последним лучше проводить электрофорез, чтобы получить более компактные полосы и избежать возможной частичной деструкции некоторых аминокислот из-за кислотного гидролиза после элюирования с бумаги.

Обнаружение

1. Нингидрин. См. «Аминокислоты», разд. 1. Нагревания, если это возможно, следует избегать. Некоторые пептиды, особенно крупные, циклические или ацетилированные, дают слабую окраску. Большинство пептидов, содержащих на N-конце глицин, и некоторые пептиды, содержащие на N-конце аспарагин, дают желтую окраску. Пептиды, содержащие на N-конце валин и изолейцин, очень медленно проявляются и иногда дают очень слабую окраску. Пептиды, содержащие на N-конце пролин, дают очень бледную желтую окраску, которая обычно исчезает.

2. УФ-свет. См. «Аминокислоты», разд. 4. УФ-спектроскопия используется для пептидов со свободными аминогруппами. Следует избегать нагревания, так как некоторые пептиды впоследствии невозможно выделить с хорошими выходами. Опрыскивание флуорескамином («Аминокислоты», разд. 2) дает возможность в УФ-свете с большой чувствительностью локализовать пептиды со свободными аминогруппами.

3. Иод. См. «Аминокислоты», разд. 5.

4. Хлор. См. «Аминокислоты», разд. 6.

Этот метод представляет особую ценность для тех пептидов, которые не дают хорошей окраски с нингидрином. Интенсивность окраски приблизительно пропорциональна числу пептидных связей, хотя иногда чувствительность может быть довольно далека от ожидаемой. Пептиды, в состав которых входят главным образом плохо обнаруживаемые этим методом аминокислоты, часто также не удается обнаружить.

5. Фенилизотиоцианат. Носитель опрыскивают смесью (150:50:6:2) пиридин – вода – триэтиламин – фенилизотиоцианат и оставляют в атмосфере паров той же смеси на 3 ч, чтобы дать возможность пептидам превратиться в фенилтиокарбамильные производные. Три раза промывают бензолом*, дважды – этиленхлоридом. Высушивают 30 мин при комнатной температуре. Пятна локализуют в УФ-свете с помощью флуоресцирующего экрана. Бумагу перед хроматографией следует промыть.

6. Более специфичные реагенты для пептидов. Некоторые специфичные для аминокислот реагенты позволяют установить наличие в пептиде той или иной аминокислоты. Замечания, приведенные выше при описании многократного прокрашивания, в той же мере касаются и использования этих реагентов при определении пептидов. В скобках приведены ссылки на разд. «Аминокислоты».

Для обнаружения тирозинсодержащих пептидов следует применять α-нитрозо-β-нафтол (разд. 8); триптофансодержащих – реагент Эрлиха (разд. 9); гистидинсодержащих – реагент Паули (разд. 12) (N-концевой гистидин в составе пептида дает чаще коричневую окраску, а не розовую, как обычно); серусодержащих пептидов – тетраиодид платины (разд. 15); аргининсодержащих – реакция Сакагучи (разд. 19); пролина и гидроксипролина, если они находятся на N-конце, – изатин (разд. 22).

---

* *Осторожно*! Пары чрезвычайно токсичны.

5. Углеводы

Сахара обычно разделяют хроматографией на целлюлозе (листы бумаги или тонкий слой), реже – на силикагеле (либо в виде свободных сахаров, либо в виде их ацетатов).

Хотя использовался широкий набор растворителей, в табл. 20.2 включены лишь три системы растворителей и соответствующие результаты разделений. Идентификацию сахара проводят

Таблица 20.2. Хроматография на бумаге (нисходящая) некоторых сахаров в трех широко используемых растворителях

Сахар	Относительная подвижность в различных системах растворителей		
	Изопропанол – вода (4 : 1)	Этилацетат – пиридин – вода (12 : 5 : 4)	*н*-Пропанол – этилацетат – вода (7 : 1 : 2)
Арабиноза	1,12	1,32	1,17
Галактоза	0,90	0,86	0,91
Галактуроновая кислота	0,15	0,14	–
Глюкуроновая кислота	0,20	0,14	0,23
Глюкоза	1,00	1,00	1,00
Дезоксиглюкоза	1,46	–	–
Дезоксирибоза	1,50	2,02	1,94
Дульцит	1,05	0,86	1,02
Инозит	0,35	0,32	0,34
Ксилоза	1,30	1,58	1,28
Ксилулоза	1,55	2,14	1,58
Лактоза	0,32	0,47	0,41
Мальтоза	0,47	0,63	0,56
Маннит	1,10	0,92	1,02
Манноза	1,05	1,20	1,06
Мелибиоза	0,35	0,42	0,39
Рамноза	1,52	1,72	1,78
Раффиноза	0,30	0,37	0,33
Рибоза	1,37	1,89	1,42
Рибулоза	1,42	2,00	1,52
Сорбит	1,05	0,86	0,98
Сорбоза	1,02	1,20	1,03
Фруктоза	1,05	1,18	1,09
Фукоза	1,35	1,46	1,28
Целлобиоза	0,45	0,61	0,50

только после определения его хроматографических характеристик в нескольких растворителях и реакции его с различными красителями.

ОБЩИЕ МЕТОДЫ

1. Нитрат серебра – гидроксид натрия. Хроматограмму погружают в раствор $AgNO_3$ (0,1 мл насыщенного водного раствора разбавляют до 20 мл ацетоном и добавляют по каплям воду до тех пор, пока $AgNO_3$ снова не растворится), высушивают и опрыскивают 0,5 М NaOH в водном EtOH (готовят путем разбавления насыщенного водного NaOH этанолом). Восстанавливающие сахара проявляются сразу же при комнатной температуре в виде черных пятен (чувствительность 1–2 мкг), а невосстанавливающие (в том числе невосстанавливающие олигосахариды, метилгликозиды, гекситы и глицерин; чувствительность 2–10 мкг) проявляются гораздо медленнее. При обнаружении ацетатов сахаров их предварительно обрабатывают парами диэтиламинометанола для омыления. Лучшие результаты при обнаружении восстанавливающих и невосстанавливающих соединений и их отличие друг от друга достигаются при использовании описанного выше раствора $AgNO_3$, но с концентрацией в 2 раза меньшей; в этом случае восстанавливающие сахара

проявляются в течение 1 мин, а невосстанавливающие в течение 5–10 мин. Бумажные хроматограммы можно закреплять, погружая в конц. водный NH_3, хорошо промывая водой и высушивая. Этот способ почти вытеснил применение «аммиачного раствора нитрата серебра» (в последнем случае опрыскивают смесью 0,1 М $AgNO_3$ + 5 М NH_3 (1:1), прогревают при 105°С 5–10 мин), дающего аналогичные реакции с восстанавливающими и невосстанавливающими углеводами. Реагент, используемый для локализации производных сахаров на тонкослойных хроматограммах, состоит из свежеприготовленной смеси (5:1:2): 0,3% раствор $AgNO_3$ в метаноле + метанол + насыщенный NH_3 + 7%-ный раствор натрия в метаноле. Пластина погружается или опрыскивается, и восстанавливающие и невосстанавливающие углеводы и их ацильные производные дают коричневые, желто-коричневые или зеленые пятна на бежевом фоне.

2. Щелочной раствор перманганата калия. Хроматограмму опрыскивают 1%-ным водным раствором $KMnO_4$, содержащим 2% Na_2CO_3. Высушивают при комнатной температуре или быстро при 100°С. Спиртосахара, гликозиды, восстанавливающие и невосстанавливающие сахара дают желтые пятна на пурпурном фоне, а затем серые пятна на коричневом фоне.

3. Периодат–перманганат калия; периодат–п-анизидин.

а) Хроматограмму опрыскивают свежеприготовленной смесью (4:1) 2%-ный водный раствор метапериодата натрия + 1%-ный раствор $KMnO_4$ в 2%-ном водном растворе Na_2CO_3. После появления пятен промывают водой. Получаются коричневые пятна на белом фоне. Для глюкозы чувствительность 3 мкг, маннита, 3-метилглюкозы 5–8 мкг; вещества, медленно восстанавливающие периодат, например сахароза и трегалоза, могут быть определены в количествах 10–15 мкг и для появления окраски требуется 40–60 мин.

б) Опрыскивают 0,01 М метапериодатом натрия, а через 2 мин – 1%-ным *п*-анизидин-HCl в BuOH. Полиолы и любые другие вещества, реагирующие с периодатом, дают белые пятна на розовом фоне. Чувствительность 25 мкг.

4. Иод. Хроматограмму выдерживают в парах I_2 в течение 15 мин. Меркаптальсахара, спиртосахара, гликозиды, гексоновые кислоты, N-ациламиносахара, нейтральные и кислые полисахариды дают коричневые пятна. Этот метод неприменим, если разделение проводили в растворителях, содержащих пиридин, коллидин или другие N-содержащие соединения.

5. п-Аминодиметиланилин. Хроматограмму опрыскивают 0,3%-ным этанольным раствором двойной соли $ZnCl_2$ и *п*-аминодиметиланилина. Это общий реагент для восстанавливающих и невосстанавливающих моно- и олигосахаридов, которые дают различную окраску.

6. УФ-свет. В УФ-свете тетрозы обнаруживают ярко-желтую флуоресценцию.

ВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕ САХАРА

7. п-Анизидин. Хроматограмму опрыскивают 3%-ным раствором гидрохлорида *п*-анизидина в смешанном растворителе BuOH – EtOH – H_2O (4:1:1), содержащем следы $SnCl_2$. Прогревают при 100–110°С в течение 3–5 мин. Альдогексозы и метилпентозы дают окраску от зеленой до коричневой; кетогексозы яркую лимонно-желтую; уроновые кислоты красно-коричневую; пентозы вишнево-красную; метилированные альдогексозы коричневую; метилированные альдопентозы интенсивно красную. Чувствительность 1–5 мкг. Восстанавливающие олигосахариды дают те же реакции, как и входящие в их состав мономеры. Невосстанавливающие вещества, за исключением кислотолабильных олигосахаридов, таких, как сахароза и раффиноза, не реагируют. *п*-Анизидинфосфат (0,5 г *п*-анизидина в 2 мл H_3PO_4 (*d* 1,75) + EtOH до 50 мл) также может быть использован для проведения аналогичных тестов. *п*-Анизидин используется также в комбинации с УФ-облучением для обнаружения сульфатов сахаров.

8. Анилин–дифениламин. Реагент: свежеприготовленная смесь анилина (4 мл), дифениламина (4 г) и сиропообразной H_3PO_4 (20 мл) в этаноле или ацетоне (200 мл). Хроматограмму опрыскивают или погружают (ацетон) в реагент и прогревают при 60–65°С в течение 5 мин (обнаруживаются пентозы) или 80°С (все другие сахара). Альдогексозы дают окраску от серой до коричневой;

кетозы желто-коричневую; метилпентозы оранжевую; альдогептозы ярко-пурпурную; уроновые кислоты яркую красно-коричневую; пентозы зеленовато-синюю.

Согласно измененной методике для опрыскивания можно использовать два реагента: один содержит дифениламин (4 г), фосфорную кислоту (20 мл) и ацетон (200 мл), а второй те же компоненты, но анилин (4 мл) вместо дифениламина. Опрыскивания обоими реагентами в любом порядке с высушиванием и прогреванием после каждого опрыскивания дают характерную окраску. Олигосахариды дают сходную окраску, кроме тех которые содержат 1 → 4-связанную восстанавливающую альдогексозу (мальтозу; они дают ярко-синюю окраску) или 1 → 2-связанную восстанавливающую альдогексозу (софорозу; оранжевая окраска). Этот тест позволяет различить фруктозу и сорбозу.

9. Трифенилтетразолийхлорид (ТТХ). Хроматограмму опрыскивают свежеприготовленной смесью (1:1) 2%-ного водного ТТХ с 1 М NaOH. Прогревают при 40°С во влажной атмосфере в течение 20 мин. Восстанавливающие сахара, особенно фруктоза и ксилоза (5 мкг), дают красные пятна на бело-розовом фоне. Восстанавливающие олигосахариды также реагируют, кроме тех, которые содержат 2-замещенную восстанавливающую альдогексозу или 1-замещенную восстанавливающую фруктофуранозу. Согласно другой методике, хроматограмму можно погрузить в 0,5%-ный раствор ТТХ в $CHCl_3$, а затем уже опрыскивать спиртовым NaOH (0,5 М).

10. Бензидин.* Хроматограмму опрыскивают раствором 0,5 г бензидина в 20 мл ледяной CH_3COOH + 80 мл EtOH. Прогревают при 100–105°С в течение 15 мин. Пентозы дают шоколадно-коричневые пятна через 5 мин; лактоза, мальтоза, галактоза, глюкоза, фруктоза темно-коричневые через 10 мин. Чувствительность 5 мкг. Аскорбиновая кислота дает светло-коричневое пятно через 10 мин. Чувствительность 10 мкг. Инозит и другие полиолы, сахароза и раффиноза не реагируют. Чувствительность и специфичность повысятся, если хроматограмму далее опрыскать либо HCl (0,3 М), либо фосфорной кислотой (0,3 М) в 95%-ном этаноле с последующим нагреванием в течение 15 мин при 70°С.

Согласно другой методике, реагент для опрыскивания включает 0,5 г бензидина в 10 мл CH_3COOH + 10 мл 40%-ной водной трихлороуксусной кислоты + 80 мл EtOH. Глюкоза (1 мкг), свободная или входящая в состав соединения, дает коричневые пятна. Свободная или связанная фруктоза дает желтое окрашивание, но реакция гораздо менее чувствительная, чем в случае глюкозы. Дисахариды, в состав которых входит восстанавливающий аминосахар, дают различное окрашивание в зависимости от положения гликозидной связи.

11. п-Анизидин–дифениламин. Смешивают равные объемы ацетоновых растворов 2%-ного дифениламина и 2%-ного *п*-анизидина (ацетон содержит 10% (об./об.) конц. H_3PO_4); хорошо встряхивают, опрыскивают хроматограмму, которую затем прогревают 2–3 мин при 90–95°С. Альдопентозы и альдогексозы дают окраску от зеленой до сине-зеленой; метилпентозы светло-желтую; уроновые кислоты красно-коричневую; кетогептозы яркую красно-коричневую. Дисахариды, содержащие в своем составе восстанавливающую альдозную единицу, дают одинаковую окраску, а содержащие восстанавливающую кетозную единицу, дают различную окраску в зависимости от положения гликозидной связи.

12. Перманганат калия в кислых растворах. Хроматограмму опрыскивают 0,03–0,15 М $KMnO_4$, содержащим 3% H_2SO_4. Органические соединения дают белые или светло-желтые пятна. Если этот реагент использовать после оксаниловой кислоты (которая дает коричневые пятна с фруктозой, глюкозой и мальтозой; см. разд. 22) и бумагу прогреть при 90°С, фоновая окраска теряется, пятна фруктозы, сахарозы и мелизитозы становятся серо-черными, а пятна глюкозы и мальтозы остаются коричневыми.

13. п-Аминофенол. Реагент: 0,5 г *п*-аминофенола + 2 г H_3PO_4 + 50 мл 96%-ного EtOH; раствор фильтруют. Хроматограмму опрыскивают этим раствором, затем прогревают при 105–110°С в течение 5 мин. Глюкоза дает темно-коричневые пятна; фруктоза лимонно-желтые; сахароза и мальтоза коричневато-желтые; раффиноза светло-коричневые.

---

* *Осторожно!* Бензидин - канцероген.

14. м-Фенилендиамин. Хроматограмму опрыскивают 0,2 М раствором *м*-фенилендиамин-дигидрохлорида в 76%-ном EtOH. Прогревают при 105°С в течение 5 мин . В УФ-свете наблюдаются яркие флуоресцирующие пятна: желтые для глюкозы, оранжевые для рибозы. Чувствительность 10 мкг. Пентозы дают розовато-коричневые пятна; дисахариды желтые; уроновая кислота розовые. Фенол, морфолин, диэтиленгликоль и диоксан мешают.

15. п-Аминогиппуровая кислота. Хроматограмму опрыскивают 0,3%-ным раствором *п*-аминогиппуровой кислоты в этаноле. Прогревают при 140°С в течение 8 мин. В УФ-свете большинство гексоз и пентоз дают оранжевые флуоресцирующие пятна. Чувствительность 1 мкг.

16. Фталевая кислота. Хроматограмму опрыскивают 3%-ным раствором фталевой кислоты в этаноле. Чувствительность 0,25 мкг глюкозы, 1 мкг фруктозы; появляется оранжевая флуоресценция в УФ-свете. В видимой области спектра эти вещества в 4–5 раз больших количествах дают оранжево-красные пятна. Также определяют восстанавливающие дисахариды и кислотолабильные невосстанавливающие олигосахариды. Вместо фталевой кислоты может быть использован 4-аминоантипирин; однако чувствительность этой методики немного ниже, причем бумагу необходимо прогревать при 150°С в течение 10 мин.

17. α-Нафтиламин. Хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором α-нафтиламина в смешанном растворе BuOH–MeOH (1:1), содержащим 5% трихлороуксусной кислоты. Это общий реагент на сахара, дающий различное окрашивание.

18. β-Нафтиламин.* Реагент: 0,1 г чистого β-нафтиламина в 50 мл EtOH + 50 ml *н*-BuOH + + 0,4 мл 3,8 М HCl + 0,2 мл H_2O + 0,05 мл 10%-ного сульфата железа(III). Хроматограмму опрыскивают и прогревают при 160–170 °С в течение 10 мин. Фруктоза дает сначала желтую окраску, которая позже становится желто-коричневой; так же локализуются олигосахариды, образующие при гидролизе фруктозу. Метилпентозы дают тусклые желтые пятна; пентозы яркие розовато-красные; альдозы светло-коричневые.

19. Динитросалициловая кислота. Хроматограмму опрыскивают 0,5%-ным раствором 3,5-динитросалициловой кислоты в 4%-ном NaOH. Восстанавливающие сахара дают коричневые пятна на светло-желтом фоне.

20. Динитробензойная кислота. Хроматограмму опрыскивают 1%-ным раствором 3,4-динитробензойной кислоты в 1 М Na_2CO_3. Прогревают при 100 °С в течение 5 мин. Восстанавливающие сахара дают синие пятна, которые затем приобретают коричневую окраску. Кетозы реагируют быстрее, чем альдозы; аскорбиновая кислота реагирует на холоду. Чувствительность 1 мкг.

21. Молибдат аммония. Реагент: 20 мл 10%-ного раствора молибдата аммония смешивают с 3 мл HCl, затем добавляют 5 г NH_4Cl. Бумагу опрыскивают этим реагентом. Любой неорганический фосфат или легко гидролизуемый органический фосфат сразу же дает желтые пятна. Прогревают при 75 °С в течение 15 мин. Восстанавливающие вещества дают синие пятна на белом фоне в результате восстановления молибдата до молибденового синего. Для глюкозы чувствительность 2 мкг. Кетозы гораздо легче определяются, чем альдозы. Сахароза также дает положительную реакцию.

АЛЬДОЗЫ

22. Анилин. В литературе описано множество вариантов методик с применением этого реагента; наиболее часто применяются следующие:

1) Хроматограмму опрыскивают раствором 0,93 г анилина + 1,66 г фталевой кислоты в 100 мл насыщенного водой *н*-BuOH. Прогревают при 105 °С в течение 5 мин. Альдопентозы дают яркие красные пятна с красной флуоресценцией в УФ-свете; альдогексозы, дезоксисахара и

* *Осторожно!* β-Нафтиламин – чрезвычайно сильный канцероген.

уроновые кислоты дают пятна различных оттенков зеленого и коричневого цветов с желтой флуоресценцией. Окраска, даваемая кетозами, очень слабая. Для проявления олигосахаридов требуется более длительное нагревание. Для мальтозы чувствительность 10 мкг; мальтотриозы 20 мкг; глюкозы 2 мкг.

2) Хроматограмму опрыскивают смесью равных объемов 0,1 М анилина и 0,1 М H_3PO_4, растворенными в насыщенном водой *н*-BuOH. Прогревают, как в выше описанной методике 1. Этот реагент позволяет определять широкий набор сахаров с более высокой чувствительностью, особенно в случае восстанавливающих олигосахаридов.

3) Реагент для опрыскивания – оксаниловая кислота. Реагент готовят путем встряхивания 100 мл 0,1 М щавелевой кислоты с 0,9 мл анилина. Пентозы (5 мкг) дают яркую красную окраску через 5 мин; глюкоза – коричневую через 10 мин. В УФ-свете тетрозы (1 мкг) дают яркую флуоресценцию. Альдопентозы и гексозы (но не кетозы и дигидроксиацетон) также флуоресцируют.

4) Хроматограмму опрыскивают 2,5%-ным раствором анилида трихлороуксусной кислоты в ледяной уксусной кислоте. Реагент дает окрашенные пятна с метилированными альдогексозами (коричневые), пентозами (коричневые), кетогексозами (коричневые) и уроновыми кислотами (красные), но не с полиолами. Чувствительность 1–5 мкг.

5) Ионофореграммы погружают в ацетон, содержащий 0,1 М анилин и 0,2 М пикриновую кислоту; нагревают при 100 °С. Сахара проявляются в виде темно-коричневых пятен на желтом фоне.

6) Любое из перечисленных ниже ароматических оснований в присутствии HCl, HCOOH, трихлороуксусной кислоты или толуолсульфокислоты дают окраску с метилированными сахарами после прогревания при 100–103 °С: анилин; *п*-аминодиметил-(или диэтил)анилин (окраска, даваемая этими веществами, зависит от степени метилирования и положения метильной группы в сахаре); *п*-фенилендиамин; N-(1-нафтил)-этилендиамин (последний пригоден для определения метильных производных кетоз).

23. Дифениламин. Хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором дифениламина в смешанном растворителе BuOH – MeOH (1 : 1), содержащем 5% трихлороуксусной кислоты. Прогревают при 100 °С в течение 10 мин. Альдогексозы дают коричневые пятна; альдопентозы – пурпурные.

КЕТОЗЫ И ПЕНТОЗЫ

24. Нафторезорцин. Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором нафторезорцина в смешанном растворителе EtOH – 2%-ная водная трихлороуксусная кислота (1 : 1), приготовленном непосредственно перед использованием. Прогревают при 100 °С в течение 5–10 мин. Фруктоза, сорбоза, сахароза, раффиноза дают красную окраску; пентозы, уроновые кислоты при стоянии дают синюю окраску; альдозы не реагируют. Можно использовать также α-нафтол и резорцин.

Согласно другой методике, для опрыскивания применяют 1%-ный раствор любого из указанных выше фенолов в смешанном растворителе EtOH – 2 М HCl (1 : 9). Прогревают при 90 °С в течение 10 мин. Кетогексозы дают красную и коричневую окраску. Чувствительность 10 мкг.

Вместо соляной можно использовать водно-этанольные растворы фосфорной кислоты, что позволяет определять более широкий набор сахаров; при такой обработке в меньшей степени разрушается бумага. Этот реагент получают путем смешивания 0,2%-ного раствора резорцина, нафторезорцина, α-нафтола, флороглюцина или орцина в этаноле с 0,1 объемами H_3PO_4 (d 1,85). При применении нафторезорциновых растворов достигается очень высокая чувствительность; это превосходный реагент для локализации высших олигосахаридов, содержащих сахарозу.

Нафторезорцин используется также для проявления тонкослойных хроматограмм. В качестве реагента применяется также 1%-ный раствор α-нафтола в смеси EtOH – H_3PO_4 (10 : 1). Пластинку опрыскивают и высушивают на воздухе в течение 30 мин. Затем прогревают при 90 °С в течение 5 мин. Используется для определения раффинозы (2 мкг).

25. Мочевина или антрахинон.

1) К 100 мл 1 М H_3PO_4 в насыщенном водой *н*-BuOH добавляют 3 г мочевины, затем 5 мл EtOH для устранения водной фазы, образующейся при растворении мочевины; этим реагентом

опрыскивают носитель и прогревают при 100–110 °С. Свободные или связанные кислотолабильными связями кетозы (сахароза и т. д.) дают ярко-синюю окраску (чувствительность очень высокая); кислотоустойчивые олигосахариды, содержащие восстанавливающую фруктозу, – серо-коричневую окраску. Альдозы реагируют (коричневая окраска), только если присутствуют в высоких концентрациях.

2) 3%-ная мочевина или антрахинон в 5%-ном этанольном HCl дают аналогичные результаты. После применения анилина–фталевой кислоты (см. разд. 22, пункт 1) глюкоза дает коричнево-красные пятна; фруктоза и фруктозаны – зелено-черные.

26. 2,5-Дифенил-3-п-стирилфенилтетразолийхлорид. Растворяют 20 мг этого хлорида в 10 мл этанола. Непосредственно перед опрыскиванием смешивают с равным объемом 0,1 М NaOH. Через несколько минут выдерживания при комнатной температуре или при легком нагревании свободные кетозы и олигосахариды, содержащие восстанавливающую кетозу (не сахарозу), появляются в виде пурпурных пятен на желтом фоне. Чувствительность 5 мкг. Альдозы реагируют лишь в том случае, если бумагу сильно нагревают.

27. Флороглюцин. Хроматограмму опрыскивают раствором реагента (0,2 г флороглюцина в 80 мл 90%-ного EtOH + 20 мл 25%-ного водного раствора трихлороуксусной кислоты). Прогревают при 110 °С. Кетозы (5 мкг) дают оранжевые пятна; пентозы (20 мкг) – зелено-синие после длительного прогревания; альдозы не реагируют.

28. Орцин. Хроматограмму опрыскивают насыщенным водой *н*-BuOH, содержащим 0,5% орцина и 15% трихлороуксусной кислоты. Прогревают при 105 °С в течение 20 мин. Тест специфичен для кетогептоз, седогептулозы и манногептулозы, которые дают синевато-зеленые пятна; кетогексозы – желтые; в случае альдогептоз или гексоз окрашивания не происходит. Если затем опрыскать смесью анилин–фталевая кислота (см. разд. 22, пункт 1) без последующего нагревания, D-ксилулоза дает пурпурную окраску; D-рибулоза – розовую; альдопентозы не реагируют. Согласно другой методике, хроматограмму опрыскивают 3%-ным раствором орцина в 5%-ном этанольном растворе HCl. Кетозы и метилкетозы дают красную окраску.

29. Мочевина–дифениламин. Смешивают равные объемы 1%-ного раствора дифениламина в ацетоне, содержащем 10% H_3PO_4, и 3%-ный раствор мочевины в насыщенном водой *н*-BuOH, также содержащем 10% H_3PO_4. Хроматограмму опрыскивают и прогревают 2–3 мин при 90 °С; за характером окрашивания наблюдают тотчас же и через 1 ч после нагревания. Фруктоза и сорбоза дают окраску от коричневой до серо-черной, маннокетогептоза – фиолетово-синюю. Окраска дисахаридов, содержащих восстанавливающую кетозу, зависит от положения гликозидной связи. Если концентрацию дифениламина увеличивают до 2%, а бумагу прогревают 4–5 мин при 95–100 °С, большинство альдоз дают ярко-красную или розовую окраску.

30. Антрон. Хроматограмму опрыскивают раствором 300 мг антрона в 10 мл подогретой ледяной уксусной кислоты и смесью 20 мл EtOH + 3 мл H_3PO_4 (*d* 1,6) + 1 мл H_2O. Прогревают при 108 °С в течение 5–6 мин. Моно-, ди-, три- и полисахариды, содержащие кетогексозы, дают яркие желтые пятна; кетопентозы – пурпурные; кетогептозы – оранжево-желтые. В УФ-свете пятна кетозы коричневые; пятна альдозы могут давать голубую флуоресценцию. В более кислых условиях, например при добавлении H_2SO_4, зеленые пятна дают и альдо-, и кетосахара.

31. 2,4-Динитрофенилгидразин. Хроматограмму опрыскивают насыщенным раствором 2,4-динитрофенилгидразина в 95%-ном этаноле, содержащем 1% конц. HCl. Прогревают при 70 °С в течение 3–5 мин. Фруктоза, сахароза и раффиноза дают оранжевые пятна на светло-желтом фоне.

32. Диазоурацил. 15 мг диазоурацила растворяют в 10 мл 0,1 М NaOH. Тотчас же опрыскивают бумагу, немного подсушивают при 60–80 °С в течение 3 мин, погружают в 2%-ный водный раствор $MgCl_2$ и подсушивают, промокая фильтровальной бумагой. Сахароза и замещенные сахарозы (раффиноза) проявляются в виде синих пятен, если заместители у сахарозы находятся не во фруктозном остатке. Чувствительность 100 мкг. Альдозы и моносахариды не реагируют.

КЕТОЗОАМИНОКИСЛОТЫ

33. Феррицианид–сульфат железа(III). Хроматограмму опрыскивают 0,1%-ным раствором феррицианида калия в растворителе (10:1): 80%-ный EtOH + 10%-ный NaOH в 80%-ном EtOH (раствор и растворитель приготовлены непосредственно перед использованием). Оставляют на 5 мин при комнатной температуре. Затем вторично опрыскивают раствором смеси сульфат железа(III) + индийская камедь + H_3PO_4. (Приготовление этой смеси описано в [JBC **83,** 115, (1929)]). Кетозоаминокислоты дают темно-синие пятна на бесцветном или голубом фоне. Чувствительность 10 мкг.

САХАРОСПИРТЫ, ГЛИКОЛИ, ДЕЗОКСИСАХАРА И ГЛИКОЛИ

См. также Инозит в разд. «Витамины».

34. Периодокупрат калия. Растворяют 12,5 г $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ в 400 мл кипящей воды, добавляют 23 г периодата калия и концентрированный водный раствор KOH, содержащий 56 г, а затем 20 г персульфата калия (небольшими порциями с интервалом в 1 мин). Кипятят 20 мин, разбавляют до 500 мл и добавляют 500 мл 2 М KOH. Реагент устойчив. При опрыскивании сахара́, многоатомные спирты, сложные эфиры и другие невосстанавливающие соединения проявляются в виде белых пятен на коричневом фоне. Методика характеризуется очень высокой чувствительностью.

35. Ванилин. Хроматограмму опрыскивают 1%-ным раствором ванилина в смеси EtOH + + 3%-ная водная хлорная кислота (1:1) (смесь приготовлена непосредственно перед использованием). Прогревают при 85 °C в течение 3–4 мин. Многоатомные сахароспирты дают бледные синие пятна, переходящие в сиреневые, а затем бледные серовато-голубые на рыжеватом фоне. Для гекситов чувствительность 15 мкг; пентитов 20 мкг; эритрита 25 мкг; глицерина 30 мкг. Инозит, дигидроксиацетон, альдопентозы и альдогексозы не реагируют, кроме рамнозы (20 мкг), которая дает кирпично-красные пятна (чувствительность 20 мкг); сорбоза и фруктоза дают глубокие серо-зеленые пятна (5 мкг). Фенолы и некоторые соединения индола также реагируют. При наблюдении в УФ-свете прокрашенной и прогретой хроматограммы можно обнаружить более широкий набор соединений.

36. Окисление периодатом с последующей обработкой смесями нитропруссид + пиперазин или нитроанилин + NaOH. Хроматограмму опрыскивают водным метапериодатом натрия ($^1/_3$ насыщения). Оставляют на 10 мин при комнатной температуре, а затем вторично опрыскивают смесью (1:3:20) насыщенный водный раствор нитропруссида натрия + H_2O + EtOH, насыщенный пиперазином. Метилпентозы, дезоксисахара и гликали через 5–10 мин дают синие пятна, которые в дальнейшем светлеют.

Согласно другой методике, проводят окисление периодатом, как указано выше, а затем вторично опрыскивают 1%-ным раствором *n*-нитроанилина в смеси (4:1) EtOH + конц. HCl. Дезоксисахара и гликали дают пятна глубокого желтого цвета на светло-желтом фоне, а в УФ-свете – желтую флуоресценцию на коричневом фоне. В третий раз опрыскивают 5%-ным NaOH в MeOH. Пятна приобретают зеленую окраску. Метилпентозы не реагируют.

37. Окисление периодатом. Реакция Шиффа. Хроматограмму опрыскивают 2%-ным водным раствором метапериодата натрия. Прогревают при 60 °C в течение 7 мин в атмосфере N_2, а затем помещают в атмосферу SO_2 для восстановления иодата и избытка периодата. Проводят вторичное опрыскивание реагентом Шиффа (получаемым растворением 1 г розанилина в 50 мл H_2O с последующим обесцвечиванием под действием SO_2; раствор обрабатывают активированным углем, фильтруют и разбавляют до 1 л водой). Хроматограмму прогревают при 60 °C в течение 10 мин. Альдегиды, появляющиеся в результате окисления, дают синие и пурпурные пятна. Для всех изученных 1,2-гликолей чувствительность 10 мкг. Углеводы, содержащие 1,2,3-триольные системы, отличаются от 1,2-диолов тем, что при периодатном окислении образуют также HCOOH, а последняя дает коричневую окраску иода при опрыскивании 5%-ным KI после разрушения избытка периодата 10%-ным водным раствором этиленгликоля.

Восстанавливающие олигосахариды, содержащие 1 → 2-связанную восстанавливающую единицу (например, койобиозу, софорозу), дают специфическую желтую окраску при опрыскивании реагентом периодат – розанилин.

38. Периодат – $MnSO_4$ – ароматическое основание. Хроматограмму опрыскивают 0,5%-ным раствором KIO_4. Оставляют на 1–5 мин. Затем вторично опрыскивают смесью (1 : 1) 15%-ный водный раствор $MnSO_4$ + насыщенный раствор ди-(*n*-диметиланилин)метана в 2 М CH_3COOH. α-Гликоли дают белые пятна на синем фоне. Чувствительность 5–50 мкг.

39. Периодат – тиобарбитурат. Хроматограмму опрыскивают 0,02 М раствором периодата натрия. Через 15 мин вторично опрыскивают смесью (50 : 50 : 0,3) этиленгликоль + ацетон + конц. H_2SO_4, а через 10 мин третий раз опрыскивают водным 6%-ным 2-тиобарбитуратом натрия. Прогревают при 100 °С в течение 5 мин, при этом 2-дезоксисахара дают красные пятна. Чувствительность 0,5 мкг.

40. Окисление тетраацетатом свинца. Хроматограмму опрыскивают ксилолом, а затем тотчас же вторично опрыскивают 1%-ным раствором тетраацетата свинца в бензоле, причем перед опрыскиванием при необходимости реагент обесцвечивают активированным углем и фильтруют. Все 1,2-гликоли (чувствительность 10 мкг), α-гидроксикислоты, пировиноградная кислота и дигидроксиацетон дают белые пятна на коричневом фоне. Чувствительность обнаружения сахароспиртов на ионофореграммах можно повысить последующим опрыскиванием розанилином (см. разд. 37).

41. Соляная кислота. Хроматограмму опрыскивают смесью (1 : 4) конц. HCl + EtOH. Прогревают при 90 °С. Гликали дают розовые пятна, переходящие в коричневые. Если вместо HCl для опрыскивания использовать спиртовой раствор $FeCl_3$, чувствительность незначительно понизится.

42. Карбазол – цистеин. Хроматограмму опрыскивают смесью (1 : 1 : 5 : 0,2) 0,12%-ный карбазол в EtOH + 1,5%-ный цистеин·HCl + EtOH + 12,5 М H_2SO_4. Прогревают при 65–70 °С в течение 5 мин. Ксилулоза и рибулоза дают фиолетовые пятна, переходящие в серые (чувствительность 3 мкг) или черные (15 мкг) на бесцветном фоне; ксилоза дает очень слабую окраску (15 мкг). То же самое характерно и для гликалей.

43. n-Диметиламинобензальдегид. Хроматограмму опрыскивают 1%-ным раствором *n*-диметиламинобензальдегида в смеси (4 : 1) EtOH + конц. HCl. Прогревают при 90 °С в течение 30 с. Дезоксипентозы, дезоксипентозиды, D-рибаль дают синевато- или пурпурно-серые пятна; дезоксигексозы, дезоксигексозиды, глюкаль, галакталь – розовато-серые. Спустя 2 мин ксилоза и арабиноза дают серые пятна; ацетилглюкозамин – фиолетовые. *n*-Диметиламинобензальдегид может быть заменен нингидрином с получением более глубокой синей окраски.

САХАРОКИСЛОТЫ

44. о-Фенилендиамин. Хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором *о*-фенилендиаминдигидрохлорида в 80%-ном EtOH. Прогревают при 100 °С в течение нескольких минут. 2-Кетогексоновые кислоты дают зеленовато-серые пятна (чувствительность 50 мкг); 10–20 мкг можно определять по флуоресценции в УФ-свете. Могут реагировать и некоторые альдозы, но они дают пятна другой окраски.

Реагент, представляющий собой 0,05%-ный раствор *о*-фенилендиамина в 10%-ной водной трихлороуксусной кислоте, также был использован для определения уроновых кислот; однако *м*-фенилендиамин (разд. 14) как реагент более чувствителен, хотя может быть не столь специфичен по сравнению с *о*-фенилендиамином.

45. Гидроксиламин – хлорид железа(III). Хроматограмму опрыскивают свежеприготовленной смесью (1 : 1) 1 М NH_2OH·HCl в MeOH + 1,1 М KOH в MeOH. Оставляют на 10 мин при комнатной температуре. Затем вторично опрыскивают 1–2%-ным раствором $FeCl_3$ в 1%-ной

водной HCl. Сложные эфиры, лактоны или эфиры лактонов дают синие или розовато-лиловые пятна. Такую же окраску реагент дает также с некоторыми амидами и метиламидами сахарокислот и большинством их эфиров.

Согласно другой методике, предложено для вторичного опрыскивания использовать сильнокислый раствор $Fe(NO_3)_3$; ацетаты сахаров и ацетаты инозита на тонкослойных хроматограммах дают пурпурную окраску с этим реагентом.

ГЕКСОЗАМИНЫ

47. Ацетилацетон–п-диметиламинобензальдегид. Реагент для первичного опрыскивания готовят из двух растворов: 1) 0,5 мл ацетилацетона в 50 мл *н*-BuOH и 2) смесь (5:20) 50%-ный водный KOH + EtOH. Смесь растворов 1 и 2 готовят непосредственно перед использованием в соотношении 10:0,5 и добавляют к ней несколько капель 50%-ного этанола для растворения выпавших кристаллов. Хроматограмму опрыскивают приготовленным реагентом. Прогревают при 105 °C в течение 5 мин. Опрыскивают второй раз раствором 1 г *п*-диметиламинобензальдегида в 30 мл EtOH + 30 мл конц. HCl + 180 мл *н*-BuOH. Прогревают при 90 °C в течение 5 мин. Свободные гексозамины дают вишнево-красные пятна (фруктозамин – красно-пурпурные, сиаловые кислоты – оранжево-розовые). N-Ацетилглюкозамин дает интенсивную пурпурно-фиолетовую окраску и с одним реагентом для второго опрыскивания без предварительной обработки реагентом, содержащим ацетилацетон (см. разд. 43). С полной обработкой (т. е. при двух опрыскиваниях) связанные $1 \rightarrow 6$ и $1 \rightarrow 3$-связями дисахариды, содержащие в качестве восстанавливающих мономерных единиц N-ацетиламиносахара, дают пурпурную окраску, а аналогичные соединения, связанные $1 \rightarrow 4$-связью, не реагируют.

48. Нингидрин. Хроматограмму опрыскивают 0,05%-ным раствором нингидрина в *н*-BuOH. Прогревают при 105–110 °C в течение 10 мин. Аминосахара дают красную окраску. Для определения свободных сахаров после опрыскивания этим реагентом можно опрыскать оксаниловой кислотой (разд. 22, пункт 3).

49. Периодат–тиобарбитурат. Хроматограмму опрыскивают 0,05 М раствором периодата натрия в 0,025 М H_2SO_4, затем реагентами для второго и третьего опрыскивания, описанными в разд. 39. После прогревания при 100 °C в течение 10 мин сиаловые кислоты дают красное окрашивание. Чувствительность 3 мкг.

ПОЛИСАХАРИДЫ

50. Сульфат меди–фосфомолибдат. Хроматограмму опрыскивают смесью 40 г Na_2CO_3 (безводн.) + 20 г $NaHCO_3$ + 25 г сегнетовой соли + 7,5 г $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ + H_2O до суммарного объема 1 л. Прогревают при 105 °C в течение 5 мин. Затем вторично опрыскивают реагентом, приготовленным растворением 150 г молибденовой кислоты + 75 г Na_2CO_3 (безводн.) в 500 мл H_2O; с последующим прогреванием и фильтрованием; добавляют 300 мл 85%-ной H_3PO_4 и воду до 1 л. Восстанавливающие полисахариды дают синие пятна на белом фоне.

51. Толуидиновый синий. В случае кислых мукополисахаридов полисахариды закрепляют на хроматограмме путем погружения хроматограммы в этанольно-эфирный раствор (95:5). Высушивают. Затем погружают в 0,06%-ный раствор толуидинового синего в 0,5%-ной водной CH_3COOH. Наконец, промывают в 2%-ной водной CH_3COOH. Гепарин дает ярко-розовую окраску; хондроитинсульфат, гиалуронат и декстрансульфат дают пурпурную окраску на светло-голубом фоне. Кобальтовая синь (0,05%-ный раствор) также используется как краситель для сульфированных кислых мукополисахаридов. Для определения кислых полисахаридов используются также другие красители: альциановый синий, муцикармин и азур А7.

52. Кармин. Исходный раствор реагента: 1 г кармина + 0,5 г безводного $AlCl_3$ + 2 мл H_2O; нагревают в фарфоровом тигле в течение 2–3 мин; растворяют в 100 мл 50%-ного этанола, через 24 ч фильтруют; хранят при 5 °C. Хроматограмму опрыскивают смесью (5:17:3) исходный раствор реагента + EtOH + H_2O. Промывают в воде, содержащей небольшое количество

CH_3COOH. Как кислые, так и нейтральные мукополисахариды дают ярко-розовые пятна на очень слабо-розоватом или бесцветном фоне.

6. Тироксин и родственные соединения

1. Нингидрин. Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным раствором нингидрина в *н*-BuOH, насыщенном водой и содержащем 5% CH_3COOH. Для тироксина чувствительность 20 мкг. Этот реагент можно использовать также для определения иодотиронинов и иодотирозинов; его нельзя применять для определения дезаминированных аналогов, а также тестировать препараты с высоким содержанием примесей аминокислот. См. «Аминокислоты», разд. 1.

2. Реактив Паули.

1) Диазотированная сульфаниловая кислота. См. «Аминокислоты», разд. 12.

2) Диазотированный N′,N′-диэтилсульфаниламид. Смешивают равные объемы охлажденного 0,05 М раствора N′,N′-диэтилсульфаниламида в 9%-ной HCl и охлажденного 4%-ного раствора $NaNO_2$. Оставляют на 10 мин при 4 °С. Хроматограмму опрыскивают и оставляют на 5 мин. Затем опрыскивают 10%-ным водным Na_2CO_3. Соединения, содержащие простые эфиры дифенолов (например, тироксина), дают пурпурную окраску, а соединения, имеющие лишь одно бензольное кольцо (например, дииодотирозин) – оранжевую. Для иодотиронинов и их аналогов чувствительность 20–30 мкг, для иодотирозинов 10–15 мкг. Реакция Паули особенно пригодна для определения дезаминированных аналогов иодотиронинов и иодотирозинов в присутствии больших количеств аминокислот; однако совершенно непригодна для фенольных конъюгатов, т. е. β-глюкуронидов и сульфоэфиров.

3. Сульфат церия – мышьяковистая кислота.

1. Реагент для опрыскивания готовят из двух растворов: 1) 10 г $Ce(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$ суспендируют в 100 мл 0,5 М H_2SO_4 при 0–5 °С; через 1 ч фильтруют. 2) 5 г арсенита натрия растворяют в 100 мл 0,5 М H_2SO_4 при 0 °С. Реагент для опрыскивания готовят смешением 1 : 1 растворов 1 и 2, смешивают непосредственно перед использованием. Чистый лист бумаги помещают на стеклянную пластинку и тщательно пропитывают реагентом; затем сверху накладывают хроматограмму и накрывают другой стеклянной пластиной; оставляют на 30 мин. Хроматограмму высушивают в атмосфере свободной от I_2. Иодсодержащие соединения дают белые пятна на желтом фоне. При фотографировании в УФ-свете они проявляются в виде черных пятен на белом фоне. Для KI чувствительность 0,01 мкг; дииодотирозина 0,02 мкг; тироксина и трииодотиронина 0,1 мкг. Чтобы предотвратить обесцвечивание фона из-за присутствия следов I_2 в атмосфере, перед высушиванием на воздухе опрыскивают 1%-ным водным раствором *о*-фенилендиамина. При этом избыток сульфата церия реагирует с амином и фон приобретает устойчивую шоколадно-коричневую окраску.

2. Измененная методика в варианте Роббина. Исходные растворы для приготовления реагента: 1) 10 г $Ce(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$ в 100 мл 10%-ной (об./об.) H_2SO_4; 2) 5 г $NaAsO_2$ в 100 мл воды; 3) 0,025 М водный раствор *о*-фенантролинферросульфата (ферроина). 1 объем раствора 1 смешивают с 6 объемами раствора 2. Образуется прозрачный оранжево-желтый раствор, к которому добавляют 1 объем раствора 3 (ферроина); получают мутную темно-зеленую суспензию, которую хранят при постоянном встряхивании. Высушенную хроматографическую бумагу слегка опрыскивают с лицевой и обратной сторон (~ 8 мл реагента требуется для опрыскивания поверхности 30 × 30 см). Иодсодержащие соединения проявляются в виде оранжевых пятен со скоростью, зависящей от концентрации этих соединений. Фон хроматограммы зеленый, но его окраска постепенно меняется сначала до оранжевой, а затем вообще обесцвечивается. Хранение хроматограммы в темноте повышает устойчивость окраски. Для иодотиронинов чувствительность 0,2 мкг, иодотирозинов 0,02 мкг.

4. Хлорид железа(III) – феррицианид – арсенит. Исходные растворы для приготовления реагента: 1) 2,7 г $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ в 100 мл 2 М HCl; 2) 3,5 г $K_3Fe(CN)_6$ на 100 мл H_2O; 3) 5 г $NaAsO_2$ в 30 мл 1 М NaOH (при охлаждении), а затем при энергичном перемешивании добавляют 65 мл 2 М HCl. Хранят эти растворы в темноте и на холоду. Перед использованием растворы 1, 2 и 3

смешивают в соотношении 5 : 5 : 1. Высушенную бумажную хроматограмму равномерно опрыскивают с лицевой и обратной сторон и помещают между двумя стеклянными пластинами на 15 мин (необходимо очень слабое освещение или темное помещение). Далее бумагу хорошо промывают дистиллированной водой и высушивают. Иодиды, иодотирозины и иодотиронины дают синие пятна; количественный анализ можно продолжить с помощью фотометра (цейсовский фильтр FE-54). Для указанных выше соединений чувствительность 0,01–0,07 мкг.

5. Крахмал–иодат. Высушенные листы бумаги сначала опрыскивают 1%-ным раствором крахмала, а затем 1%-ным раствором KIO_3 или $KBrO_3$. Влажную бумагу в течение 3–4 мин облучают УФ-светом. Участки, содержащие иодированные вещества, проявляются в виде синих пятен, которые в дальнейшем исчезают. Для тироксина чувствительность 0,5 мкг, дииодотирозина 0,05 мкг.

7. Липиды

Сложные липиды в настоящее время практически всегда определяют методом тонкослойной хроматографии.

ОБЩИЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОПРЫСКИВАНИЯ ИЛИ ПОГРУЖЕНИЯ

1. Серная кислота. ТСХ-пластинки или стеклобумагу опрыскивают конц. или 50%-ной H_2SO_4 или насыщенным раствором хромовой кислоты в H_2SO_4 (хромовой смесью). Пластинки нагревают в печи или прогревают на горячей подложке; окраска проявляется с повышением температуры пластинки, реагент особенно хорош для обнаружения стероидов. Большинство нелетучих соединений в конце концов дают черные пятна. Методом обугливания можно определять 0,1 мкг липида; однако липиды, не содержащие кратных связей, менее реакционноспособны.

2. Дихлорофлуоресцеин. Реагент: 0,2%-ный раствор 2′,7′-дихлорофлуоресцеина в 95%-ном этаноле. Хроматограмму наблюдают в УФ-свете при 366 нм.

3. Фосфорномолибденовая кислота. Готовят 10%-ный раствор фосфорномолибденовой кислоты в абсолютном этаноле. После прогревания пластинки в печи при 160–180 °С горячую хроматограмму сразу же опрыскивают раствором реагента. Сразу появляются интенсивно синие пятна на светло-желтом фоне.

4. Родамин 6G или родамин B. Хроматограмму погружают в 0,001%-ный водный раствор родамина 6G в 0,25 М K_2HPO_4. Влажную хроматограмму наблюдают в УФ-свете. Появляются пурпурные, синие и желтые пятна на розовом фоне. Оптимальное время выдерживания в красителе варьирует в зависимости от природы соединения и типа хроматограммы (0,2–10 мин).

5. Пары иода. Этот тест используют для всех липидов, азотсодержащих соединений и невосстанавливающих углеводов. После испытания вещества остаются неизмененными. Хроматограмму обрабатывают парами I_2, продуцируемыми кристаллами в закрытой камере (см. «Стероиды», разд. 32). Идентификацию пятен осуществляют в день проведения хроматографии. УФ-свет усиливает окраску. Если хроматографический растворитель содержал кислоту, его следует сначала удалить, поместив хроматограмму в вакуум-эксикатор или обработав ее аммиаком.

6. Гидроксиламин–хлорид железа(III). Обнаружение ацилэфиров. Пластинку или хроматограмму опрыскивают щелочным раствором гидроксиламина, быстро высушивают; вторично опрыскивают подкисленным эфирным раствором хлорида железа(III) (методика приготовления описана ниже). Быстро появляются пурпурные пятна на желтом фоне.

Щелочной раствор гидроксиламина. Растворяют 10 г $NH_2OH \cdot HCl$ в 25 мл воды, разбавляют до 100 мл этанолом, смешивают с 26 мл насыщенного водного раствора NaOH, разбавляют до 200 мл этанолом. Осадок NaCl отфильтровывают.

Подкисленный раствор хлорида железа(III). 10 г $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ и 20 мл 37%-ной HCl растирают в ступке пестиком. Образующийся раствор встряхивают с 300 мл эфира.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОПРЫСКИВАНИЯ ИЛИ ПОГРУЖЕНИЯ

7. Нингидрин. Тест на липиды, содержащие свободные аминогруппы.

1) Хроматограмму опрыскивают или погружают в 0,25%-ный раствор нингидрина в ацетоне. Проявляют при комнатной температуре в течение нескольких часов или нагревают в печи при 85 °С в течение нескольких минут.

2) Концентрированный раствор нингидрина в *н*-бутаноле (1 мг/мл) разбавляют 2,4-лутидином (20%, об.) непосредственно перед использованием. Проявляют при 120°С в течение 5 мин. Окраску усиливают путем погружения хроматограммы в 2 М HCl на 2 мин с последующим промыванием и высушиванием перед опрыскиванием реагентом.

8. Флуорескамин. Чувствительный реагент для определения липидов, содержащих свободные аминогруппы. Хроматограмму опрыскивают 0,5%-ным раствором флуорескамина в ацетоне. Для выявления флуоресцирующих пятен пластинку наблюдают в УФ-свете.

9. 2,4-Динитрофенилгидразин. В случае альдегидогенных липидов пластинку опрыскивают 30%-ной H_2SO_4, а через 5 мин – реагентом, который содержит 1,2 г 2,4-динитрофенилгидразина + 260 мл CH_3OH + 40 мл конц. HCl + 20 мл $CHCl_3$. Альдегидогенные липиды проявляются в виде светло-желтых пятен на почти белом фоне.

10. 4-Амино-5-гидразино-1,2,4-триазолтиол-3 (АГТТ). Пластинку опрыскивают свежеприготовленным раствором 2%-ного АГТТ в 1 М NaOH. Свободные альдегиды быстро проявляются в виде пурпурных пятен, максимальная интенсивность которых достигается спустя 45 мин (для пальмитинового альдегида чувствительность 1 мкг). Кетоны не дают реакции, в то время как аутоокисляющиеся ненасыщенные жирные кислоты и липиды могут давать положительную реакцию. В случае альдегидогенных липидов пластинку после проведения хроматографии перед опрыскиванием подвергают действию паров HCl для высвобождения альдегидной группы.

11. Периодат – реагент Шиффа. Тест на фосфатидилглицерин, инозитфосфатиды и цереброзиды. Хроматограмму промывают дистиллированной водой и высушивают. Погружают в 2%-ный водный раствор периодата натрия на 1 мин. Промывают водой, погружают в 2%-ный водный раствор бисульфита натрия на 25 мин. Погружают в реагент Шиффа (1%-ный раствор *п*-розанилина, обесцвеченный с помощью SO_2 и профильтрованный через активированный уголь) на 30 с. Через 10–15 мин появляется пурпурное пятно.

12. Реактив Драгендорфа. Тест на холин. Смешивают 4 мл раствора 1, 1 мл раствора 2 и 20 мл дистиллированной воды. (Раствор 1: 1,7 г $Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ растворяют в 100 мл 20%-ной (об./об.) уксусной кислоты. Раствор 2: 40 г KI растворяют в 100 мл воды). Хроматограмму высушивают при комнатной температуре. Свободный холин дает пурпурное пятно; холинсодержащие соединения – оранжевые пятна. См. «Амины», разд. 11 и 12.

13. Реактив Байала: орцин – $FeCl_3$ – HCl. Тест на гликолипиды. Хроматограммы прогревают в течение 1,5 ч при 80°С в атмосфере HCl. Обрабатывают реагентом Байала и снова помещают в атмосферу HCl при 80°С. На белом фоне проявляются фиолетовые пятна. Реагент Байала: 40,7 мл конц. HCl + 0,1 г орцина + 1 мл 1%-ного $FeCl_3$ + H_2O до суммарного объема 50 мл.

14. Реактив молибденовый синий. Тест на фосфолипиды. Реактив 1: 40 мл конц. HCl + 10 мл металлической ртути + 80 мл 13,3%-ного раствора молибдата аммония; компоненты встряхивают в течение 30 мин. Реагент 2: осторожно добавляют 200 мл конц. H_2SO_4 к 40 мл 13,3%-ного молибдата аммония. Смешивают реагент 1 (металлическая ртуть остается на дне) и реагент 2, разбавляют до суммарного объема 1000 мл и охлаждают. Опрыскивают ТСХ-пластинку при комнатной температуре; фосфолипиды проявляются в виде синих пятен на белом фоне. Чувстви-

тельность 0,5 мкг Р. Реактив можно использовать после опрыскивания нингидрином (разд. 7). Прогревание при 100°С в течение 30 мин приводит к «сжиганию» всех липидов.

15. Судан черный. Тест на липопротеины; применяется в гистохимии. Растворяют 0,1 г судана черного В в 1 мл этилацетата при комнатной температуре. К раствору добавляют 9 мл пропиленгликоля. Хроматограмму прокрашивают в течение 15 мин. Выдерживают соотношение краситель : липопротеин = 1:5.

8. Фенолы и родственные соединения

Хотя ряд химически простых фенолов участвует в животном метаболизме, основная масса фенольных соединений из числа встречающихся в природе найдена в растениях (например, флавоноиды, коричные кислоты, кумарины и таннины), как правило в соединении с другими веществами (например, гликозиды). Большинство фенольных соединений или их производных (например, глюкуронидов), присутствующих в нормальной моче, проистекают из этих двух источников, но применение лекарств и других чужеродных органических соединений, содержащих ароматическое ядро, может способствовать образованию фенолов, даже если исходное соединение не содержит фенольных групп. Таким образом, в понятие фенольные входит широкий набор соединений с различными реакционноспособностью и полярностью, и поэтому выбор как растворителя для разделения, так и реагента для обнаружения зависит от класса исследуемых соединений.

Поскольку большинство фенольных соединений, встречающихся в растениях и моче, соединены с другими веществами, желательно исследовать соответствующий экстракт до и после гидролиза (кислотой, основанием (обычно в атмосфере N_2) или ферментом).

До настоящего времени в качестве растворителей для разделения слабополярных соединений (например, простых фенолов) чаще всего используются различные комбинации бензола (толуола или хлороформа), уксусной (или муравьиной) кислоты и воды (например, C_6H_6—CH_3COOH—H_2O, 125:72:3). Такие растворители содержат мало воды; результаты разделения с их помощью зависят от температуры; кроме того, они требуют предварительного уравновешивания.

В случае более полярных соединений (например, большинство соединений, присутствующих в растительных экстрактах, и фенольные соединения мочи) наибольшее применение нашли растворители, основанные на комбинации спиртов, воды и уксусной (или муравьиной) кислоты (например, *н*-BuOH—CH_3COOH—H_2O, 6:1:2; *н*-BuOH—EtOH—H_2O, 4:1:2,2; 2%-ная водная CH_3COOH; CH_3COOH—конц. HCl—H_2O, 30:3:10). Щелочные растворители были использованы для разделения некоторых классов (особенно фенольных кислот), но поскольку многие фенолы легко окисляются при высоких pH, таких растворителей следует по возможности избегать.

ОБНАРУЖЕНИЕ ПО ОКРАСКЕ ИЛИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

1. Окраска в видимом свете и флуоресценция в УФ-свете. Большинство фенольных соединений, содержащихся в растительных экстрактах, либо окрашены, либо чаще всего сильно флуоресцируют под действием длинноволнового УФ-облучения (~ 300 нм). Простые фенольные соединения же не окрашены и не флуоресцируют; их можно определять по поглощению в коротковолновой УФ-области (~ 250 нм).

Из окрашенных соединений можно назвать антоцианины (окраска от оранжевой до розовато-лиловой), флавонолы и некоторые нитрофенолы (светло-желтые) и хальконы и ауроны (темно-желтые). Оттенок и глубина окраски меняются с увеличением числа соответствующим образом расположенных фенольных групп. Флуоресценция обычно коричневая (флавоны, флавонол-3-гликозиды и хальконы), различных оттенков желтая (флавонолы и ауроны) или различных оттенков синяя или пурпурная (коричные кислоты, кумарины, метилированные флавоны и стильбены); очень часто цвета перекрываются, что зависит от расположения фенольных и гидроксильных групп в молекуле.

При обработке хроматограммы парами NH_3 (лучше всего) или при опрыскивании щелочными растворами (для этой цели пригоден 0,05–1 М водный раствор Na_2CO_3) окраска наблюдаемых визуально (в видимой области) пятен, а также флуоресценция в УФ-свете обычно характерным образом меняются из-за ионизации фенольных гидроксильных групп и образования благодаря

этому конъюгированных связей. Вообще можно считать, что обратимое изменение окраски пятна или флуоресценции под действием аммиака свидетельствует о присутствии фенольного соединения. Антоцианины приобретают синеватые оттенки, а флавонолы и другие соединения становятся темно-желтыми. Некоторые бесцветные соединения, например хлорогенная кислота, при щелочных pH также могут желтеть. Кроме того, под действием оснований происходит окисление некоторых соединений, что приводит к появлению длительно сохраняющихся коричневых пятен. В присутствии основания цвет флуоресценции обычно смещается в сторону больших длин волн (т. е. синий → зеленый → желтый). Отсутствие изменения окраски в видимой и УФ-области, вероятнее всего, свидетельствует о метилировании или других формах замещения фенольных групп.

РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ ЗАМЕСТИТЕЛЕЙ

2. Диазотированные амины. Все соединения, содержащие фенольные гидроксильные группы со свободными *пара-* или *орто*-положениями и не содержащие сильно дезактивирующих заместителей или стерически затрудненных групп, при подходящих pH реагируют с диазотированными аминами с образованием окрашенных азокрасителей. Имидазолы также реагируют. В реакции азосочетания было использовано множество различных аминов, но наиболее пригодным оказался *п*-нитроанилин, поскольку цвет образующихся азокрасителей часто варьирует в зависимости от pH.

1. *Диазотированный п-нитроанилин.*

Готовят два реагента: раствор амина (5 мл, 0,5%-ный, масс./об.) в 2 М HCl смешивают с водным раствором нитрита натрия (0,5 мл, 5%-ный, масс./об.) и раствором ацетата натрия (15 мл, 20%-ный); раствор Na_2CO_3 (20%-ный масс./об.). Оба раствора последовательно используют для опрыскивания хроматограммы, отмечая в каждом случае наблюдаемые цветные реакции и их изменение. В случае необходимости хроматограмму можно дополнительно опрыскать 0,1 М раствором NaOH. Опрыскивание первым реагентом должно быть легким и равномерным, иначе появится чрезмерный фон.

2. Диазотированные сульфаниловая кислота и бензидин *.

Оба этих амина готовят в виде 0,5%-ного (масс./об.) раствора в 2 М HCl; после диазотирования раствор первого реагента подщелачивают, добавляя раствор карбоната натрия (20%-ный, масс./об.; трехкратный объем).

ДРУГИЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ЗАМЕЩЕНИЯ

Наибольшее применение нашли 2,6-дибромохинон-4-хлороимид, *п*-диметиламинобензальдегид, ванилин и *п*-толуолсульфоновая кислота, а также азотистая кислота. Первый из них реагирует только с фенолами, имеющими свободное *пара*-положение; два следующих лучше всего вступают в реакции с *мета*-замещенными двухатомными недезактивированными фенолами и таким образом могут быть использованы для определения катехинов и лейкоантоцианинов в присутствии других соединений. Напротив, азотистая кислота реагирует со многими фенольными соединениями, но не все образующиеся нитрозофенолы дают окрашенные хиноноидные соли с основанием.

3. 2,6-Дибромохинон-4-хлороимид **. Хроматограмму сначала опрыскивают реагентом (0,5%-ный раствор) в этаноле, а затем любым подходящим основанием (pH ~ 10) или обрабатывают бумагу аммиаком. Большинство реагирующих фенолов дают синюю окраску; реагируют также и некоторые другие соединения (например, тиолимидазолы).

4. п-Диметиламинобензальдегид. Раствор *п*-диметиламинобензальдегида (10%-ный масс./об.) в конц. HCl разбавляют пятикратным объемом ацетона или этанола. Если реагент растворен не в

---

* *Осторожно*! Бензидин – канцероген.

** *Осторожно*! Это соединение взрывоопасно при температуре ⩾ 50°C.

конц. HCl, а в уксусном ангидриде, он обладает некоторой селективностью к арилглицинам (например, гиппуровой кислоте), которые дают оранжевую или красную окраску; некоторые органические кислоты также реагируют. Катехины и аналогичные соединения дают анилиново-красные пятна (на холоду медленно, но быстро при нагревании). Индолы, пирролы и ароматические амины реагируют еще легче, но они могут быть дифференцированы от фенолов с помощью других реагентов.

5. Ванилин–n-толуолсульфоновая кислота. Альдегид (2 г) и кислоту (1 г) растворяют в этаноле (100 мл); полученным раствором опрыскивают бумагу, после чего прогревают ее при 100°C в течение 10 мин. Катехины и родственные соединения дают окраску от розовой до фиолетово-красной.

6. Азотистая кислота. Сначала хроматограмму опрыскивают нитритом натрия (1%-ный раствор) в 1 М уксусной кислоте, а затем 0,1 М NaOH. Многие фенолы, включая хлорогенную кислоту, дают красную окраску.

ОКИСЛИТЕЛИ

Большинство фенолов, кроме высокозамещенных, легко окисляются, особенно при высоких pH, но наиболее активны вещества, содержащие две или три вицинальные гидроксигруппы.

Хотя некоторые фенолы могут быть определены обычно в виде коричневых пятен, получаемых в результате аутоокисления после опрыскивания хроматограммы, лучше выбирать такие реагенты, которые сами меняют окраску. Наиболее пригодным оказался реагент, содержащий хлорид железа(III) и феррицианид калия; этот реагент обладает высокой специфичностью к фенольным соединениям. Однако фенолы, имеющие одну гидроксигруппу в кольце, реагируют очень медленно. Можно использовать также щелочной раствор нитрата серебра; но этот реагент взаимодействует с широким набором других соединений. Можно воспользоваться аутоокислением фенолов, содержащих две или три вицинальные гидроксигруппы, при высоких pH, конденсируя образующиеся хиноны с этилендиамином.

7. Хлорид железа(III)–феррицианид калия. 1%-ные водные растворы каждой из солей (марки AR) смешивают в равных соотношениях непосредственно перед опрыскиванием или погружением хроматограммы (раствор должен быть оранжево-коричневым без малейших следов синего). Реакционноспособные фенолы уже на холоду тотчас дают синие пятна. При необходимости получения долговременно сохраняющихся «отпечатков» бумагу после проявления следует промыть 0,1 М HCl, а затем водой.

8. Щелочной раствор нитрата серебра. См. «Углеводы», разд. 1.

9. Этилендиамин. Смешивают равные объемы раствора этилендиамина (10%-ный об./об.) и 0,5 М раствора Na_2CO_3. После опрыскивания полученным раствором бумагу прогревают при 100°C в течение 5 мин. Вещества с тремя вицинальными гидроксигруппами сразу же дают пятна разных оттенков, которые при нагревании становятся коричневыми и, как правило, флуоресцируют желтым цветом; *орто*-дигидроксисоединения дают либо коричневые пятна при нагревании, либо желтые с голубой флуоресценцией.

ХЕЛАТИРУЮЩИЕ АГЕНТЫ

Эти реагенты малочувствительны, но обладают тем преимуществом, что после их применения фенолы могут быть регенерированы. Образование хелатов во всех случаях зависит от pH.

10. Соли железа(III). Фенолы, имеющие две или более вицинальные гидроксигруппы или *орто* (или *пара*)-гидрокси и карбонильные группы, дают окрашенные хелатные комплексы с солями железа(III). Хелаты с дигидроксисоединениями обычно зеленого цвета, с тригидроксисоединениями синие, остальные коричневые или красные. Наиболее подходящие реагенты – железоаммонийные квасцы (0,2%-ный раствор) или хлорид железа(III) (2%-ный раствор).

11. Соли алюминия. Соли алюминия (например, 1%-ный этанольный раствор хлорида алюминия) образуют окрашенные или флуоресцирующие хелатные комплексы с флавонолами и другими соединениями. Изменение окраски антоцианина до синей под действием солей алюминия указывает на наличие вицинальных гидроксигрупп.

12. Молибдаты. Молибдаты (например, 0,1 М раствор молибдата натрия) на холоду дают хелаты желтого цвета с вицинальными ди- и тригидроксифенолами.

9. Эфиры фосфорной кислоты

Общие методы разделения включают хроматографию в смесях водных и органических растворителей или электрофорез, или и то и другое на бумаге. Из двух методов более медленным является хроматография, в то время как высоковольтный электрофорез может быть проведен в течение 30 мин. Способы обнаружения фосфатов на бумаге варьируют в зависимости от исследуемых соединений; наличие в молекуле нефосфатного фрагмента может позволить применить быстрый недеструктивный метод анализа, например нуклеотиды можно определять по поглощению в УФ-свете.

1. Молибдат–хлорная кислота.

1) Хроматограмму опрыскивают смесью (5:10:25:60) 60%-ная (масс./об.) хлорная кислота + + 1 М HCl + 4%-ный раствор молибдата аммония + H_2O. Неорганический фосфат дает желтые пятна. Бумагу высушивают при 85°С в течение 1 мин. Глюкозо-1-фосфат и другие высоколабильные эфиры фосфорной кислоты дают желтые пятна. Бумагу облучают УФ-светом. Все органические фосфаты, включая трудногидролизуемые (например, фосфоглицериновая кислота), дают при этом синие пятна; неорганический фосфат – желто-зеленые. Лимонная кислота может давать синие пятна. Фоновую окраску убирают обработкой бумаги парами NH_3.

2) Хроматограмму опрыскивают смесью молибдат–хлорная кислота. Прогревают при 85°С в течение 10 мин. Затем опрыскивают свежеприготовленным раствором, содержащим 3 объема 60%-ной хлорной кислоты и 1 объем восстанавливающего агента (1 г *п*-метиламинофенолсульфат + 3 г бисульфита натрия в 100 мл H_2O). Сахарофосфаты дают синие пятна на белом фоне.

3) Хроматограмму погружают в смесь 3 мл 5%-ного (масс./об.) раствора молибдата аммония + 7 мл 5 М HCl + 90 мл ацетона; высушивают на воздухе. Затем ее погружают в смесь 10 мл 1%-ного раствора ванадилхлорида в 1,0 М HCl + 90 мл ацетона. В смесь быстро добавляют при встряхивании 0,2 г порошка цинка. Происходит восстановление: ортофосфат, фосфит, пирофосфат и ряд эфиров фосфорной кислоты и фосфонатов дают на белом фоне пятна, окраска которых варьирует от зеленой до пурпурной.

2. Хлорид железа(III)–салицилсульфоновая кислота. Хроматограмму опрыскивают 0,1%-ным раствором $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ в 80%-ном этаноле; высушивают при комнатной температуре. Железо связывается эфирами фосфорной кислоты. Хроматограмму повторно опрыскивают 1%-ным раствором сульфосалициловой кислоты в 80%-ном этаноле; сульфосалициловая кислота реагирует с несвязанным железом. Эфиры фосфорной кислоты дают белые пятна на бледном розовато-лиловом фоне.

3. Хинин. Хроматограмму погружают или опрыскивают 0,025%-ным этанольным раствором дигидрата хининсульфата. Дважды промывают этанолом для удаления избытка хинина, высушивают и наблюдают в УФ-свете. Эфиры фосфорной кислоты проявляются в виде светлых пятен на серо-голубом фоне. Чувствительность < 1 мкг Р. Присутствие неорганических солей на бумаге может мешать.

10. Пурины, пиримидины, нуклеозиды и нуклеотиды

Идентификация пуриновых и пиримидиновых оснований обычно осуществляется путем сравнения значений R_f неизвестного и маркерных соединений в ряде растворителей. Сравнение УФ-спектра поглощения очищенного хроматографией соединения со спектрами соответствующих эталонов, как правило, позволяет провести окончательную идентификацию.

ОБЩИЕ МЕТОДЫ

1. Поглощение в УФ-свете. Пуриновые и пиримидиновые производные в УФ-свете проявляются в виде темных пятен на слегка флуоресцирующем фоне бумаги. Это наиболее чувствительный метод обнаружения (1 мкг), он позволяет локализовать вещество без химической модификации. *Следует защищать глаза от действия УФ-света.* Локализацию веществ на хроматограмме можно наблюдать визуально или фотографировать контактным методом. Если в качестве растворителей использовались фенол или коллидин, их следует сначала удалить многократным промыванием эфиром. В случае барбитуровых кислот используют предварительное опрыскивание 0,5 М NaOH. Чтобы увеличить фоновую флуоресценцию, а следовательно, и контрастность, можно использовать опрыскивание 0,005%-ным флуоресцеином в 0,5 М растворе NH_3. Однако это не рекомендуется делать, если вещество предполагается элюировать с бумаги для последующей спектрофотометрии.

2. Флуоресценция в УФ-свете. Некоторые пуриновые и пиримидиновые производные могут флуоресцировать под действием УФ-света. Это можно наблюдать визуально или фотографировать контактным методом. Лист нитроцеллюлозной пленки (0,08 мм), помещенный между хроматограммой и фотографической бумагой устраняет УФ-свет, но пропускает видимый свет флуоресценции. Таким образом, вещество проявляется в виде черного пятна на серовато-белом фоне. Чувствительность 0,1 мкг.

ПУРИНЫ

3. Хромат серебра. Хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором $AgNO_3$, затем погружают в 0,5%-ный раствор бихромата натрия. При этом образуется красный осадок хромата серебра. Хроматограмму погружают в 0,5 М HNO_3, где красный осадок медленно растворяется, а на хроматограмме остаются красные пятна лишь в местах локализации пуринов (комплексы пурин–хромат серебра). Хроматограмму вынимают из HNO_3, когда фон сохраняет еще слегка розовый цвет. Промывают водой. Таким образом можно определять 0,5 мкг гуанина или аденина. Пиримидины не реагируют.

4. Соли ртути. Хроматограмму опрыскивают 0,25%-ным раствором ацетата ртути в 95%-ном этаноле, содержащем несколько капель ледяной уксусной кислоты; высушивают на воздухе. Затем вторично опрыскивают 0,05%-ным раствором дифенилкарбазона в 95%-ном этаноле. Реагируют пурины, содержащие один ионизуемый атом водорода. Чувствительность 5 мкг. Пятна должны появиться сразу, но продолжают выступать и спустя 24–48 ч. Если при разделении использовались фенол или пиридин, их следует сначала удалить промыванием бумаги в эфире.

5. Бром. Хроматограмму обрабатывают в течение 2 мин парами Br_2, а затем в течение 1 мин водяным паром над кипящей водяной баней. Бумагу высушивают в течение 5 мин при 110°С. Кофеин, теобромин и теофиллин дают малиново-розовые пятна, которые при обработке NH_3 становятся красновато-пурпурными. Чувствительность 10–20 мкг.

ПИРИМИДИНЫ

6. Соли ртути. Хроматограмму вымачивают в течение 30 с в растворе (1:3:6) 0,1 М ацетат ртути + 1 М ацетат натрия + H_2O. Затем точно в течение 20 с вымачивают в медленно текущей проточной воде. Наконец, погружают в раствор сульфида аммония. Урацил и цитозин (5 мкг) и тимин (10 мкг) дают черные пятна.

7. п-Диметиламинобензальдегид. Хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором *п*-диметиламинобензальдегида в 30%-ной HCl. Сульфапиримидины дают оранжево-желтые пятна.

РИБОНУКЛЕОЗИДЫ

8. Окисление периодатом – реагент Шиффа. Рибонуклеозиды и 5′-рибонуклеотиды после периодатного окисления *цис*-гликольных группировок вступают в реакцию Шиффа на диальдегиды. См. «Углеводы», разд. 37. Для рибонуклеотидов чувствительность 20–50 мкг.

ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕОЗИДЫ

9. Цистеингидрохлорид. Хроматограмму опрыскивают 0,5%-ным раствором цистеин·HCl в 1,5 М H_2SO_4. Прогревают в течение 5–10 мин при 85°С. Дезоксирибоза и дезоксирибозиды дают розовые пятна. Чувствительность 10–20 мкг. Пурины реагируют быстрее, чем пиримидины. Рибоза или рибонуклеозиды не реагируют.

10. Реакция Дише. Реагент: 1%-ный раствор дифениламина в ледяной уксусной кислоте, к которому добавлено 2,75% (об.) H_2SO_4, разбавляют половинным объемом воды. Опрыскивают хроматограмму. Бумагу зажимают между стеклами и нагревают при 90°С. Пуриновые дезоксирибонуклеозиды (10 мкг) дают фиолетово-синие пятна через 5–10 мин; пиримидиновые дезоксирибонуклеозиды (40–80 мкг) дают синие пятна через 25–30 мин. Реагирует дезоксирибоза. Предел обнаружения пиримидиновых производных благодаря бромированию понижается в 4 раза. До проведения реакции с дифениламином хроматограмму слегка опрыскивают смесью Br_2: вода: уксусная кислота (1:50:10) и прогревают между стеклянными пластинами при 100°С в течение 5 мин.

11. Реакция Фельгена на пуриновые дезоксирибонуклеозиды. Хроматограмму опрыскивают реагентом Шиффа (см. «Углеводы», разд. 37), раствор делают 0,05 М по H_2SO_4. Прогревают в течение 6 мин при 60°С, затем оставляют на 24 ч при комнатной температуре. Пуриновые дезоксирибонуклеозиды дают пурпурную окраску; чувствительность 10 мкг.

НУКЛЕОТИДЫ

12. Молибдат-хлорная кислота и другие реагенты. См. «Эфиры фосфорной кислоты», разд. I.

13. Уранилацетат – ферроцианид. Хроматограмму погружают в 0,15%-ный водный раствор уранилацетата. Промывают 20 с в воде, затем погружают в 3%-ный водный раствор ферроцианида калия, подкисленный HCl. Нуклеотиды дают коричневые пятна.

ПИРИДИННУКЛЕОТИДЫ

14. УФ-свет. Восстановленные пиридиннуклеотиды флуоресцируют в УФ-свете. Чувствительность 3 мкг. (Опрыскивание смесью (1:1) 2%-ный $Na_2S_2O_4$ + 4%-ный $NaHCO_3$ восстанавливает NAD и NADP до дигидроформ.)

15. УФ-свет – цианид калия. Хроматограмму пропитывают 1 М KCN с помощью пипетки Пастера. Окисленные пиридиннуклеотиды, никотинамидмононуклеотид и никотинамидрибозид образуют продукты присоединения, интенсивно флуоресцирующие в УФ-свете.

16. Серная кислота. Методика для тонкослойной хроматографии. Пластинку опрыскивают 50%-ной H_2SO_4 и прогревают при 200°С в течение ~10 мин, пока не произойдет обугливания.

17. Пары иода. Пары иода используют для временного проявления вещества на ТСХ-пластинке, когда пятна необходимо элюировать для количественного определения.

ФЛАВИНЫ

18. УФ-свет. Флавины дают желто-зеленую флуоресценцию, особенно после опрыскивания 0,05 М NaOH. Чувствительность 0,01 мкг. Тщательно убирают остатки фенолсодержащего растворителя, промывая бумагу в эфире, так как фенол тушит флуоресценцию.

11. Стероиды

По своим свойствам стероиды широко варьируют, начиная с липидоподобного, монофункционального холестерина и кончая гидрофильными сапогенинами и кортикостероидами. Для выделения индивидуальных стероидов широко используются как адсорбционная, так и распределительная хроматография, но применению адсорбционной хроматографии часто препятствует разложение полиоксигенированных производных. Традиционную распределительную хроматографию можно считать универсальным методом. Обращенно-фазовая хроматография используется для разделения монофункциональных стероидов.

Если специально не оговорено, можно считать, что описанные в данном разделе методы локализации вполне пригодны как для бумажной хроматографии, так и ТСХ. Однако можно достаточно легко проверить, как будет протекать реакция в тех условиях, в которых предполагается ее использовать, и это вдвойне необходимо сделать, поскольку на эффективность реакции могут влиять как адсорбент, так и сами связывающиеся с ними вещества.

Используемые сокращения: Ст – стероид; кето – оксо; ол – гидрокси; аль – альдегид; ол-3 – 3α- и/или 3β-гидрокси.

НЕНАСЫЩЕННЫЕ СВЯЗИ

1. Осмиевая кислота. Хроматограмму обрабатывают парами 1%-ного водного раствора осмиевой кислоты (*Осторожно!* Очень токсична). Стероиды с ненасыщенными связями дают пятна от серого до черного цвета: ен-9(11) 10 мкг; ен-5 5 мкг; ен-4-он-3 2 мкг. Эстрогены не вступают в эту реакцию и в этом тесте не обнаруживаются.

2. УФ-свет (для сопряженных двойных связей)

1) Поглощение в УФ-свете при 254 нм. Слабая флуоресценция бумаги гасится центрами поглощения, включающими две или более сопряженные двойные связи, например диен-3,5, диен-5,7, ен-4-он-3, ен-5-он-7, ен-16-он-20, ен-4-дион-3,6 и др.; чувствительность 0,5 мкг. Чувствительность можно увеличить в пять раз, если использовать для детекции фотографию или пропитать хроматограмму флуоресцирующим веществом, например 0,01%-ным раствором антрацена (Au) в петролейном эфире (40–60°С). Антрацен малореакционноспособен и не мешает дальнейшим операциям.

2) Поглощение в УФ-свете при 360 нм. Аналогичное тушение флуоресценции наблюдается в случае наличия в молекуле трех или более сопряженных связей (но не ароматической природы), например ен-4-дион-3,6 5 мкг. При обработке антраценом происходит повышение чувствительности методики, аналогичное описанному выше.

КЕТОНЫ

3. Щелочной м-динитробензол (реакция Циммермана).

1) Реагенты: а) 1 объем исходного конц. (15 М) раствора KOH (80 г KOH + 60 мл H_2O) разбавляют 5 объемами этанола, хорошо перемешивают (в потоке N_2). б) 2%-ный этанольный раствор *м*-динитробензола. Хроматограмму погружают в раствор (а), промокают; погружают в раствор (б), промокают и осторожно прогревают с помощью фена.

Пурпурные пятна дают он-17 (но не ол-15, ол-16 или ол-18) и ен-4-он-3-ол-6 (1 мкг); синие он-3 (5 мкг); синие ен-4-он-3 (2 мкг); желтые, переходящие в черные (см. методику в разд. 5(1)), ен-4-дион-3,6 (0,5 мкг); коричневые он-20 (10 мкг); красные 21-дезокси-он-20-ол-17 (2 мкг). Бутенолиды ряда дигиталиса дают синие или фиолетовые пятна (1–5 мкг).

4. 2,4-Динитрофенилгидразин. Хроматограмму погружают в 0,3%-ный раствор динитрофенилгидразина в 0,3%-ной HCl (об./об.) в метаноле. Прогревают в течение 5 мин при 90°С. Промывают путем «протаскивания» через 2 М раствор NaOH в воде и 2 М HCl.

Большинство кетонов дает желтые пятна (2–5 мкг); но ен-4-оны-3 дают оранжевые пятна (1 мкг).

5. Щелочь.

1) Хроматограмму погружают в 1 М NaOH; ен-4-дион-3,6 дает желтую окраску (2 мкг) и желтую флуоресценцию в УФ-свете при 365 нм (0,5 мкг); ен-4-он-3-ол-6 в этом тесте дает слабую реакцию при стоянии в течение нескольких часов.

2) Желтая флуоресценция и менее интенсивная окраска, появляющиеся после прогревания, свидетельствуют о присутствии ен-4-она-3 обычно с тремя или более кислородсодержащими группами. Использование 50%-ного метанольного раствора NaOH и помещение бумаги между стеклянными пластинами для предотвращения высыхания повышает надежность тестирования (0,5 мкг). Введение в реакционную смесь тетразолиевого производного уменьшает фоновую флуоресценцию и таким образом повышает чувствительность.

6. Нитропруссид (для ацетопроизводных).

Реагент: специальная паста, которую готовят в количествах, пропорциональных площади плоской кюветы. Для каждых 100 $см^2$ площади кюветы требуется: 0,5 г нитропруссида натрия, 10 г Na_2CO_3 и 10 г ацетата аммония; к ним добавляют 10 мл метанола и смешивают. Покрывают пастой дно кюветы, хроматограмму кладут поверх пасты и осторожно прижимают. Пятна появляются спустя 5–10 мин; яркость их увеличивается в течение часа. Метилкетоны дают фиолетовые пятна; 21-дезокси-он-20, прогестерон (2 мкг), 17-гидрокси и гидроксильные заместители в других положениях не мешают, но ен-16 или он-16 мешают проведению реакции.

АЛЬДЕГИДЫ

7. Реакция Шиффа. Реагент: растворяют 1 г основного фуксина в 100 мл кипяченой дистиллированной воды, охлаждают до 60°С, добавляют 2 г метабисульфита калия, перемешивают до растворения и медленно добавляют 20 мл 1 М HCl; сосуд закрывают, смесь оставляют на ночь, добавляют активированный уголь, перемешивают и фильтруют. Этот реагент остается бесцветным при хранении в темноте при 4°С.

Хроматограмму погружают в раствор, промокают, прогревают при 60°С в течение 10 мин и подвешивают в камере, наполненной SO_2. Последнее необходимо для сохранения окраски; другой способ устранить доступ воздуха – поместить хроматограмму между двумя стеклянными или полиэтиленовыми пластинами. Свободные альдегиды реагируют быстро (2 мкг); некоторые альдегиды, участвующие в образовании полуацеталей, могут реагировать медленно.

СПИРТЫ

Большинство ранее описанных в литературе реагентов для локализации «стеролов» также пригодны для определения «стеронов» и в значительной степени неспецифичны. Это, однако, нисколько не умаляет их значение на практике (они приведены в разд. «Разное»).

8. Окисление трет-бутилхроматом (для β,γ-ненасыщенных спиртов). Реагент: к охлажденной смеси 10 мл *трет*-бутанола и 10 мл CCl_4 добавляют 5 г CrO_3, перемешивают в течение 10 мин, добавляют 65 мл CCl_4 и фильтруют через 10 г Na_2SO_4 (безводн.) на пористом фильтре. Хранят при 4°С над Na_2SO_4. Реагент может храниться два и более месяцев. Непосредственно перед использованием 1 мл реагента разбавляют смесью 80 мл ксилола и 20 мл пиридина; хорошо встряхивают мутный раствор. Хроматограмму равномерно опрыскивают, прогревают при 100°С в течение 5 мин. Погружают в 1 М NaOH и высушивают при 100°С. Желтую окраску дают ен-5-олы-3β (5 мкг); они же дают желтую флуоресценцию в УФ-свете при 360 нм (1 мкг) благодаря превращению в ен-4-дионы-3,6, которые в случае изначального присутствия в препарате также дают положительный тест. Окраска и флуоресценция могут появляться медленно, если окисление не полное, и образуется ол-6 вместо она-6. 2α-Гидрокситестостерон (5 мкг) дает желтую окраску при нагревании с *трет*-бутилхроматом, которая бледнеет при обработке щелочью. 7-Кетодегидроэпиандростерон при обработке щелочью дает синюю флуоресценцию.

9. Окисление трет-бутилхроматом (для α-замещенных этанолов). Окисление *трет*-бутилхроматом проводят так, как описано в предыдущем разделе (разд. 8). После прогревания при 100°С хроматограмму обрабатывают как описано в разд. 6. Фиолетовые пятна дают

17,21-дезокси-олы-20 (10 мкг); он-20 также вступает в реакцию и для его идентификации следует использовать методику, описанную в разд. 6 (без окисления).

10. Феноловый красный (для α-гликолей). Реагент: 2 мл 0,1%-ного этанольного раствора фенолового красного и 1 мл 0,15 М H_3BO_3 разбавляют 20 мл метанола; титруют 0,1 М NaOH до pH 11 (контроль по pH-метру). Бумагу опрыскивают; кислоты и *цис*-α-диолы дают желтые пятна на розовом фоне: диол-16,17 (5 мкг); ен-4-он-3-ол-2 (10 мкг). Диолы боковой цепи прегнана не дают реакции.

КИСЛОТЫ

11. Индикаторы. Кислотно-основные индикаторы как реагенты для идентификации высокомолекулярных жирных кислот хорошо «работают», если при хроматографии используются нейтральные растворители.

К 0,1%-ному этанольному раствору бромокрезолового зеленого добавляют 0,1 М NaOH до приобретения раствором сине-зеленой окраски. Перед использованием реагент разбавляют ацетоном (1:4). Хроматограмму погружают или опрыскивают. Кислоты проявляются в виде желтых пятен на зеленом фоне, а основания – в виде синих. Пятна более устойчивы, если покрыты полимерной пленкой для предотвращения доступа CO_2.

12. Образование солей. Хроматограмму погружают в 1%-ный аммиачный раствор $AgNO_3$. Хорошо промывают дистиллированной водой, облучают УФ-светом в течение 10–20 с и погружают в фотопроявитель. Серебряные соли (2 мкг) дают черные пятна, которые можно сохранить путем обработки фотофиксажем. Если бумагу не нагревать, то присутствие восстановителей не мешает проведению реакции.

ЭФИРЫ И ЛАКТОНЫ

13. Гидроксамовая реакция. Реагенты: а) 14 г $NH_2OH \cdot HCl$ в 100 мл CH_3OH; б) 3,5 М KOH в CH_3OH; в) 2 г $FeCl_3$ в 100 мл 10%-ной HCl (об./об.). Смешивают (а):(б) = 5:4, встряхивают и отфильтровывают KCl. Хроматограмму опрыскивают (а не погружают), выдерживают 10 мин и опрыскивают раствором (в). В случае появления коричневого $Fe(OH)_3$ хроматограмму высушивают и снова опрыскивают раствором (в). Ацетаты и пропионаты (но не формиаты) стероидных спиртов, метиловые и этиловые эфиры стероидных кислот и стероидные лактоны дают пурпурные пятна (2 мкг).

14. Нитропруссид (для α,β-ненасыщенных лактонов). Реагент Легала. 1%-ный раствор нитропруссида в 50%-ном этанольном растворе 1 М NaOH. Хроматограмму погружают в реагент; карденолиды с α,β-ненасыщенными лактоновыми кольцами дают окраску от красной до фиолетовой, например дигитонин (5 мкг).

ФЕНОЛЫ

Все перечисленные ниже реагенты – групповые для фенолов, и это обстоятельство следует иметь в виду при интерпретации результатов, полученных для фенольных стероидов, эстрогенов.

15. Реакция диазотирования. Реагент: а) 0,5%-ный водный раствор брентамина стойкого синего В основного (ICI Ltd.); б) раствор $NaHCO_3$, доведенный до pH 9,0 (pH-метр) 10%-ным раствором NaOH; на холоду устойчив неограниченно долго. Перед использованием смешивают равные объемы растворов (а) и (б). Хроматограмму погружают в реагент и промокают. Все фенолы дают пятна от оранжевого до красного цвета; чувствительность для эстрогенов 5–10 мкг.

16. п-Фенолсульфонат натрия. Хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором *п*-фенолсульфоната натрия в 85%-ной H_3PO_4. Эстрогены (10 мкг) дают светло-зеленые или оранжевые пятна, характеризующиеся сине-зеленой, фиолетово-малиновой или оранжево-желтой флуоресценцией в УФ-свете.

ВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ

Основной восстанавливающий центр стероидов – α-кетольная группа, хотя слабо реагируют также и α,β-ненасыщенные кетоны.

17. Тетразолиевый синий (ТТС). Реагенты: а) 0,2%-ный водный раствор хлорида дианизолбисдифенилтетразолия (фирмы Merck). б) 2 М NaOH. Непосредственно перед использованием смешивают (а):(б):EtOH = 3:10:5. Хроматограмму погружают в этот раствор и промокают. При комнатной температуре (> 20°С) появляются синие пятна. В случае использования стирилтетразолия (М&Б 1767) получают ярко-синие пятна на желтом фоне.

В случае он-20-ола-21, он-17-ола-16 (1 мкг) синие пятна появляются сразу. Медленно реагируют он-3-ол-2 (1 мкг). Медленно реагирует при нагревании ен-4-он-2 (10 мкг).

Фон не появляется, и пятна можно фиксировать промыванием в 5%-ной водной уксусной кислоте.

18. Трифенилтетразолийхлорид (ТФТ). Реагент: 0,2%-ный водный раствор хлорида трифенилтетразолия (ТФТ) в воде. К раствору реагента добавляют половинный объем 10%-ного NaOH. Хроматограмму опрыскивают или погружают в реагент и промывают. Красные пятна на розовом фоне дают он-20-олы-21 (5 мкг).

Чтобы идентифицировать наличие 17-гидроксилированных боковых цепей, хроматограмму сначала погружают в 1 М NaOH, затем помещают на стеклянную пластинку, покрывают другой стеклянной пластинкой и прогревают при 100°С в течение 5 мин. В результате этой процедуры олы-17 разрушаются и, таким образом, только 17-дезокси-он-20-олы-21 дают красные пятна.

19. Аммиачный раствор нитрата серебра. Хроматограмму опрыскивают раствором 0,1 М $AgNO_3$ – конц. NH_3 – 10%-ный NaOH (100:5:50), компоненты смешивают непосредственно перед использованием. Через 5–10 мин пятна фиксируют путем обработки раствором 25 г $Na_2S_2O_3$ + + 15 г $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ в 1,5 л H_2O. Через 30 мин хроматограмму промывают в воде в течение 30 мин. Высушивают при комнатной температуре. Сердечные агликоны, содержащие α,β-ненасыщенное лактоновое кольцо, дают черные или коричневые пятна (2–25 мкг). Эту же реакцию дает характерная для кортикостероидов α-кетольная группа у атома C_{17} (10–15 мкг). α-Кетоальдегиды также дают коричневые пятна, в то время как гликоли не дают реакции.

'ОГЕННЫЕ РЕАКЦИИ

В этом разделе описаны тесты, основанные на превращении вещества одного химического типа в другой с целью его определения описанными выше методами, а также методы определения отдельных фрагментов крупных молекул. Реакции на стероидные остатки следует осуществлять параллельно на двух хроматограммах, с 'огенным превращением и без него, так чтобы можно было отчетливо выявить различия между реакционноспособными группами, образовавшимися в ходе 'огенной реакции и существовавшими до нее.

20. Формальдегидогенная реакция. Реагент: 15 г ацетата аммония растворяют в 85 мл 80%-ного метанола; добавляют 1 мл ацетилацетона, 0,3 мл ледяной уксусной кислоты и 0,1 мл HIO_4 (50%-ный водный раствор). Реагент готовят и используют при рассеянном свете. Хроматограмму погружают в реагент и промокают. Через 10 мин появляются зеленовато-желтые флуоресцирующие пятна, которые становятся наиболее интенсивными спустя 1 ч, когда возникает желтая окраска. Реагируют олы-21 с олами-20 или онами-20, чувствительность 5 мкг по цвету и 1 мкг по флуоресценции. Реагент специфичен для всех α-замещенных первичных спиртов. Его нельзя использовать при работе с хроматограммами, пропитанными гликолями.

21. Ацетальдегидогенная реакция. Реагенты: а) 5 мл 50%-ной водной HIO_4 разбавляют 5 мл воды и 90 мл *трет*-бутанола; б) 2 г нитропруссида натрия и 15 мл пиперидина разбавляют метанолом до 100 мл. Хроматограмму погружают в раствор (а), промокают, ждут 5–10 мин, чтобы прошла реакция. Опрыскивают раствором (б). Через 10 мин на том месте, где высвободился ацетальдегид, появляются синие пятна на светло-желтом фоне. Среди стероидов

реагируют только прегнандиолы-17,20 (2 мкг). Методику нельзя использовать, если в процессе хроматографии бумага оказывается пропитанной гликолем.

С некоторыми изменениями методика может быть использована и для обнаружения других веществ. Реагент: свежеприготовленный 0,1%-ный раствор Na(или K)BH_4 в 0,01 М метанольном NaOH (к водному 1 М NaOH добавляют метанол). Хроматограмму опрыскивают, промокают, выдерживают при комнатной температуре в течение 30 мин до завершения реакции и далее обрабатывают так, как указано выше. В этом случае помимо диолов-17,20 реагируют также 21-дезокси-он-20-олы-17 (10 мкг).

22. Специфическая 17-кетогенная реакция. Реагент: свежеприготовленный 2,5%-ный раствор тетраацетата свинца в теплой ледяной уксусной кислоте, содержащей 10% уксусного ангидрида (*осторожно!* Вызывает слезотечение). Хроматограмму погружают в реагент, промокают и выдерживают на воздухе в течение 15 мин. Избыток кислоты удаляют с помощью фена и определяют кетоны по методике, описанной в разд. 3, пункт 1. Реагент дает положительную реакцию с перечисленными в этой методике кетонами, а также с диолами-17,20 (5 мкг).

Можно использовать и другой окислитель – 1% HIO_4 + 1% H_2SO_4 в 75%-ном этаноле. Проводят реакцию в течение 30 мин, а затем хроматограмму обрабатывают так, как описано выше в разд. 3, пункт 1. Эти реакции иногда сопровождаются освобождением иода, и пятна оказываются более размытыми, чем при реакции с $PbAc_4$.

23. Неспецифическая 17-кетогенная реакция. Используют *трет*-бутилхромат как окислитель, как описано в разд. 8. Затем определяют кетоны по методике; описанной в разд. 3, пункт 1. Определяются одновременно все указанные кетоны и все олы-17 с боковой цепью и без нее (2 мкг). Боковые цепи без олов-17 (5–20 мкг) определяют в основном по пятнам синего цвета, что обусловено реакцией с заместителем в положении-3.

24. Альдегидогенная реакция. Хроматограмму погружают в реагент а, описанный в разд. 21, и промокают. Выдерживают 10 мин до завершения реакции и помещают в атмосферу SO_2 на 15 мин. Затем используют реагент на альдегиды, описанный в разд. 7. Альдегидные группы в стероидах, существовавшие до окисления и появившиеся в результате окисления, дают пятна с окраской от красной до синей. Для 17-дезоксидиолов-20,21 чувствительность 10 мкг. Триол-17, 20,21 дает отрицательную реакцию из-за дальнейшего окисления. Для диолов-16,17 (эстриолов) чувствительность 5 мкг.

25. Ацидогенная реакция. Реагент: 1 объем 0,7%-ного водного раствора KIO_4 разбавляют 3 объемами этаиола. Хроматограмму погружают в реагент, промокают и выдерживают в течение 1 ч. Опрыскивают реагентом, описанным в разд. 11 на кислоты. Желтые пятна свидетельствуют об образовании кислотных групп в результате окисления или существовании их до окисления. Для 17-дезокси-он-20-ола-21 чувствительность 5 мкг; для он-20-диола-17,21 10 мкг; для он-17-ола-16 5 мкг; но ен-4-он-3-ол-2 дает отрицательную реакцию. Тест не удается в случае хроматограмм, пропитанных гликолями.

САПОГЕНИНЫ

26. Гемолиз. Хроматограмму опрыскивают 2%-ной суспензией кровяных клеток морской свинки в физиологическом растворе. Гемолиз сапогенинами вызывает появление более светлого или более темного пятна на рыжевато-коричневом фоне. Чувствительность < 60 мкг.

См. также разд. 39 (пункт 2), 44 (пункт 2) и 43.

КОНЪЮГАТЫ

Стероидные конъюгаты – это соединения стероидов с остатками других молекул, образующиеся в процессе метаболизма. Продукты синтеза к веществам, объединенным этим термином, не относятся. Стероидная часть может быть определена реагентами на стероиды, если местоположение новой связи не блокирует реакцию. Для проведения реакций на нестероидную часть может потребоваться предварительное гидролитическое освобождение ее из соединения со

стероидом. Хотя конъюгаты и обладают кислотными свойствами, для их обнаружения нельзя использовать кислотно-основные индикаторы (разд. 11), так как хроматографию проводят в кислотных растворителях.

27. Нафторезорцин (для глюкуронидов). Реагент: к 100 мл 0,2%-ного раствора нафторезорцина в этаноле добавляют 10 мл фосфорной кислоты. Хроматограмму погружают в раствор, промокают и в течение 1/2–1 ч обдувают теплым воздухом. Прогревают при 90°С 5 мин. Глюкурониды дают синие пятна (10 мкг); для свободной глюкуроновой кислоты чувствительность 1 мкг.

Чувствительность теста увеличивается, если проводят гидролиз глюкуронидазой. Хроматограмму погружают в раствор 5000 Е глюкуронидазы/мл в 0,1 М ацетатном буфере (pH 4,5). После выдерживания в термостате в течение 1 ч при 37°С – предпочтительнее во влажной атмосфере – хроматограмму высушивают и обрабатывают нафторезорциновым реагентом. Сразу же прогревают при 90°С. Глюкурониды дают синие пятна (2 мкг), но если проводится ферментативный гидролиз, они более размыты.

28. Реакция с родизоновой кислотой (на сульфат). Реагенты: а) 20 мл конц. HCl, разбавленной 180 мл диоксана; б) 20 мг $BaCl_2$ в 100 мл 75%-ного метанола; в) 12 мг родизоната калия в 15 мл воды, разбавленные 10 мл 0,880 аммиака и 25 мл этанола. Хроматограмму подвешивают на 3 ч в закрытой камере, насыщенной парами раствора (а). Высушивают в потоке воздуха в сушильном шкафу в течение 1 ч. Погружают в раствор (б), высушивают в потоке воздуха в течение 10 мин. Погружают в раствор (в) и промокают. Сульфаты проявляются в виде желтых пятен на розовом фоне; для дигидроксиацетонсульфата ($ДГАSO_4$) чувствительность 10 мкг. Это общий реагент для всех органических сульфатов.

29. Реакция с метиленовым синим (на сульфаты). Реагент: 20 мг гистологического красителя метиленового синего (922) и 5 г Na_2SO_4 растворяют в 100 мл воды, и непосредственно перед использованием к полученному раствору осторожно добавляют 1 мл конц. H_2SO_4. Хроматограмму погружают в раствор реагента и промокают; помещают в хлороформ и слегка «прополаскивают» в течение 1–2 мин. Большие количества сульфата проявляются в виде розовато-белых зон на синем фоне перед промыванием $CHCl_3$. Малые количества проявляются в виде белых зон при промывании; для $ДГАSO_4$ чувствительность 1 мкг. Эта реакция положительна для всех органических сульфатов, а также органических фосфатов. «Встречное» (повторное) прокрашивание 0,01%-ным раствором родамина-6G в хлороформе приводит к появлению красноватых пятен на синем фоне и желтой флуоресценции в УФ-свете при 360 нм (0,1 мкг).

ДРУГИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Все приведенные ниже реакции неспецифичны, и при интерпретации результатов следует соблюдать определенную осторожность, поскольку сильно различающиеся стероиды, а также нестероидные вещества могут давать одну и ту же реакцию.

30. Фосфорновольфрамовая кислота. Реагент: 15%-ный этанольный раствор фосфорновольфрамовой кислоты. Хроматограмму погружают в раствор реагента, промокают и прогревают в печи при 80°С. Окраска широко варьирует, особенно в случае производных холестана. Ен-5-олы-3β дают розовую окраску (3 мкг).

31. Фосфорномолибденовая кислота. Реагент: 10%-ный раствор додекамолибденовофосфорной кислоты в *н*-пропаноле, фильтрованный (при наличии мути раствор непригоден), необходимо использовать в течение 1 ч. Хроматограмму погружают в раствор реагента, промокают и прогревают, наблюдая за ходом проявления (инфракрасные лампы или печь со стеклянной дверцей). Синие пятна на желтом фоне свидетельствуют о наличии веществ с малым числом кислородсодержащих групп, таких, как стероиды. В реакцию вступают все стероиды с моно- или диоксигенированными ядрами; триоксигенированные ядра реагируют при быстром нагревании в печи (2–5 мкг). Производные *цис*-тестостерона и 17-алкилтестостерона дают красные пятна. Тест «не работает» в случае адсорбционной ТСХ.

32. Иод.

1) Для определения многих стероидов хроматограмму погружают в насыщенный раствор I_2 в петролейном эфире (60–80°С). Для эстрогенов чувствительность 1 мкг; пятна желтого или коричневого цвета.

2) Хроматограмму опрыскивают 0,3%-ным раствором I_2 в 5%-ном водном KI, а затем промывают водой. Ен-4-оны-3 (20–50 мкг) дают желтые пятна; кортизон (15 мкг) синие.

3) Хроматограмму опрыскивают холодным насыщенным раствором I_2 в EtOH. Этот реагент дает синюю окраску с холевой кислотой.

4) Исходный раствор: иодоводородная кислота (*d* 1,5), насыщенная I_2. Этот раствор разбавляют в десять раз водопроводной водой непосредственно перед использованием. Пропитывают бумагу. Промывают водопроводной водой до обесцвечивания фона. К числу функциональных групп, дающих реакцию с этим реагентом, относятся α,β-ненасыщенные кетоны, 17-кетоны и гидроксильные группы у атома C_3 в молекуле, содержащей метилкетон или α-кетольную боковую цепь; на хроматограмме проявляются коричневые, оранжевые или синие пятна (8–20 мкг).

Если в дальнейшем предполагается использовать еще какие-то реагенты, удобнее всего обрабатывать хроматограмму по методике, описанной в пункте 1. Остальные способы дают цветные окрашивания с более широким набором стероидов и наиболее удобны при решении каких-то конкретных задач.

33. Бром. Хроматограмму опрыскивают насыщенным водным раствором Br_2. Нестероидный диэтилстильбэстрол дает малиновое пятно (5 мкг).

Для определения стеролов применяется измененная методика. Хроматограмму обрабатывают парами Br_2 в течение 30 с; опрыскивают растворами: а) насыщенным раствором KI в MeOH; б) 20%-ным раствором крахмала. Стеролы дают темно-синие пятна на бесцветном или светло-голубом фоне (10 мкг).

34. Перманганат калия. Хроматограмму опрыскивают 0,2%-ным $KMnO_4$ в 5%-ном растворе Na_2CO_3. Промывают в воде до обесцвечивания фона. Кортикостероиды дают коричневую окраску. В реакцию вступают следующие группы: ен-4-он-3, α-кетольная, триолы-17,20,21 (30–70 мкг).

35. Серная кислота.

1) Концентрированную H_2SO_4 наносят тонким слоем на стеклянную пластинку, поверх кладут фильтровальную бумагу. Вещества, содержащие 11-гидроксильную группу, особенно соединения, содержащие F, дают яркую зеленую флуоресценцию. Реакция пригодна для идентификации стероидов $C_{19}O_3$.

2) Согласно другому варианту методики, используется обработка дымящей (15% SO_3) H_2SO_4. Эстрогены дают в видимом свете окраску от оранжево-желтой до красно-коричневой, в УФ-свете флуоресценцию от желто-зеленой до красно-коричневой. Чувствительность 5 мкг. Этот метод чувствителен, но неспецифичен для C_{19}- и C_{21}-стероидов. Предел обнаружения для прегнандиолов (оранжевые пятна) 5 мкг; для андростандионов (розовые пятна) 50 мкг.

3) Реагент: 1%-ный раствор H_2SO_4 в этаноле. Хроматограмму погружают в реагент, промокают и прогревают при 100–120°С. Внимательно следят за хроматограммой и вынимают из печи при первых признаках обугливания. Красную окраску с оранжевой флуоресценцией дают ен-4-оны-3; чувствительность 1 мкг. Подавляющее большинство стероидов вступает в реакцию, например в случае тетрагидрокортизона наблюдается желтая, а в случае тетрагидрокортизола – синяя флуоресценция; чувствительность 2 мкг.

36. Фосфорная кислота.

1) Хроматограмму погружают в 70%-ную водную H_3PO_4, кладут на стеклянную пластинку и прогревают при 90°С. Окраска появляющихся пятен широко варьирует, включая пурпурную для прегнантриолов (1–2 мкг). Под действием УФ-света при 360 нм возникает флуоресценция различной окраски. Для желчных кислот был использован 85%-ный этанольный раствор H_3PO_4.

2) Хроматограмму погружают в 20%-ную водную H_3PO_4 и прогревают при 90°С в течение

20 мин. Большинство стероидов дают окраску, отличающуюся от той, какая наблюдается в тесте, описанном в разд. 35 (пункт 3).

37. Соляная кислота. Хроматограмму погружают в конц. HCl, помещают на стеклянную пластинку и прогревают при 60°C в течение 5 мин. 17α-Алкилированные стероиды дают характерную окраску и флуоресценцию.

38. Муравьиная кислота. Хроматограмму погружают в холодную муравьиную кислоту (98–100%-ную). Через несколько минут 7α-гидроксидегидроэпиандростерон дает зеленую окраску, переходящую в синюю.

39. Трихлороуксусная кислота (ТХУ).

1) Реагент: 10 г ТХУ в 20 мл этанола. Хроматограмму погружают в раствор, промокают и прогревают при 70°C в течение 10 мин. Многие стероиды дают желтую или розовую флуоресценцию (360 нм), но прегнантриолы-3,17,20 дают характерную синюю флуоресценцию (2 мкг).

2) Прогревание с 25%-ной ТХУ в $CHCl_3$ при 100°C в течение 20 мин дает окраску с сердечными гликозидами и сапогенинами.

40. Реакция Либермана–Бурхарда. Реагент: к 20 мл охлажденного до 0°C уксусного ангидрида (*осторожно!* Вызывает слезотечение) медленно и при помешивании добавляют 5 мл конц. H_2SO_4. Хроматограмму быстро погружают в реагент и помещают на стеклянную пластинку.

Разработан и другой вариант методики. Хроматограмму кладут на стеклянную пластинку, а реагент размазывают по поверхности стеклянной палочкой, используя ее как валик. Сверху покрывают другой стеклянной или пластмассовой пластинкой. Через несколько минут холестерин и его эфиры дают зеленую окраску, которая медленно переходит в синюю (5 мкг).

41. Фосфорномолибденовольфрамовая кислота. Хроматограмму опрыскивают реагентом Фолина на фенолы (фирма BDH), разбавленным непосредственно перед использованием 5 объемами воды. Обрабатывают парами аммиака в течение 5 мин. Эстрогены (0,5 мкг) дают синие пятна; другие стероиды с α-кетольной боковой цепью – ярко-синие.

42. Анилинфталат. См. «Углеводы», разд. 22 (пункт 1). Стероиды с группировкой ен-4-он-3 в А кольце дают желтые, оранжевые или коричневые пятна на белом фоне. Чувствительность повышается в 10 раз при замене анилина в составе реагента на *п*-фенилендиамин. Чувствительность 2–3 мкг.

43. Ароматические альдегиды. Хроматограмму опрыскивают раствором 0,5 мл анисового альдегида в 50 мл CH_3COOH, к которому добавлен 1 мл конц. H_2SO_4. Прогревают при 90°C в течение 2–5 мин. Кортикостероиды дают окрашенные пятна.

Стероидные сапогенины определяют следующим образом. Хроматограмму опрыскивают 1%-ным этанольным раствором одного из перечисленных ниже альдегидов. Высушивают в течение 5 мин. Затем вторично опрыскивают смесью уксусный ангидрид – конц. H_2SO_4 (12:1). Прогревают при 85–90°C до появления пятен. Ванилин, анисовый, коричный и салициловый альдегиды дают со стероидными сапогенинами желтые пятна на серо-белом фоне: *п*-диметиламинобензальдегид дает розовые пятна на желтом фоне; 4-ацетокси-2-нафтальдегид – наиболее чувствительный реагент, дающий с сапогенинами красные пятна. Пригоден для ТСХ.

44. Трихлорид сурьмы. Осторожно! Очень ядовит.

1) Хроматограмму опрыскивают 10–20%-ным раствором $SbCl_3$ в $CHCl_3$. Прогревают при 70–90°C в течение 4 мин. Пятна различных цветов в видимом и УФ-свете дают кортикостероиды, эстрогены (коричневые, желтые и розовые); стероиды C_{19} и C_{21}, содержащие —OH группу (20–50 мкг); гликозиды *Digitalis* (< 0,5 мкг); стеролы: эргостерол (0,5 мкг) и холестерол (5 мкг); и стероидные сапогенины (в основном желтые или красновато-оранжевые пятна; чувствительность 2–5 мкг).

2) Хроматограмму опрыскивают раствором 25 г безводного $SbCl_3$ в 5 мл нитробензола. Это общий реагент на гидроксистероиды, не содержащие кетонных групп (1–2 мкг).

3) Хроматограмму после выдерживания в течение 20 мин в атмосфере Cl_2 опрыскивают свежеприготовленным раствором 380 г $SbCl_3$ в 100 мл уксусного ангидрида. Бумагу высушивают прогреванием при 90–100°С. Пятна на хроматограмме в УФ-свете могут обнаруживать флуоресценцию, но могут и не флуоресцировать. Чувствительность 0,5–5 мкг (кроме кортизона).

4) Хроматограмму опрыскивают 50%-ным раствором $SbCl_3$ в ледяной уксусной кислоте. Прогревают при 90–96°С в течение 3–5 мин. Желчные кислоты дают розовую, пурпурную и желтую окраску.

45. Пентахлорид сурьмы. Осторожно! Очень ядовит.

Хроматограмму опрыскивают 20–40%-ным раствором $SbCl_5$ в $CHCl_3$. Пятна различного цвета, в основном коричневые и красные, дают эстрогены (15 мкг); стеролы группы витамина D; эргостерол (0,5 мкг); холестерол (5 мкг).

46. Хлорид железа (III). Хроматограмму опрыскивают 2%-ным раствором $FeCl_3$ в метаноле. Эстрогены дают пурпурные пятна (20 мкг).

В другом варианте методики может быть использован реагент, содержащий 1% $FeCl_3$ + 1% феррицианид калия. Эстрогены, кортикостероиды и андрогены дают синие пятна. Долговременную фиксацию пятен осуществляют промыванием бумаги в 0,1 М HCl, а затем в воде.

47. Хлорид цинка.

1) Хроматограмму опрыскивают 30%-ным раствором безводного $ZnCl_2$ в метаноле. Прогревают при 130°С в течение 1 ч. Гидроксистероиды дают пятна различного цвета в видимом свете и флуоресценцию в УФ-свете (2–10 мкг).

2) Используют также 40%-ный раствор $ZnCl_2$ в смеси ледяная уксусная кислота–бензоилхлорид–$CHCl_3$ (5:7:12). Хроматограмму прогревают при 90°С в течение 5 мин. Кортикостероиды и эстрогены дают в основном оранжевые, розовые или коричневые пятна с желтой или розовой флуоресценцией в УФ-свете; чувствительность 5 мкг. Реагент пригоден для ТСХ.

3) Реагент: 4 г $ZnCl_2$ смешивают с 0,5 мл воды. При тщательном перемешивании добавляют 25 мл ацетилхлорида. Используют в течение 1 ч после приготовления. Хроматограмму погружают в реагент, помещают на стеклянную пластину и прогревают при 100°С. Многие стероиды дают пятна с различной окраской (2–5 мкг).

48. Хлорид олова. Реагент: 0,3 г $SnCl_2$ и 4 г мочевины растворяют в 10 мл 40%-ной H_2SO_4. Хроматограмму погружают в реагент, промокают и прогревают на стекле при 80°С. Эстрогены (2–5 мкг) и кортикостероиды (10 мкг) дают флуоресцирующие пятна (УФ-свет, 360 нм).

12. Витамины

ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Витамин А

1. Трихлорид сурьмы. Этот реагент наиболее специфичен (из всех известных) к витамину А. Хроматограмму опрыскивают насыщенным раствором $SbCl_3$ в $CHCl_3$. Витамин А, его эфиры, ретинен и ангидровитамин А дают синюю окраску. *Осторожно!* Реагент чрезвычайно ядовит!

2. УФ-свет. Под действием коротковолнового света (256 нм) витамин А флуоресцирует ярким золотисто-коричневым цветом.

Витамин D

1. Перманганат калия. ТСХ-пластинку со слоем силикагеля опрыскивают щелочным раствором $KMnO_4$; появляются коричневые пятна.

2. УФ-свет. На бумажных хроматограммах под действием коротковолнового УФ-света (256 нм)

витамины D проявляются в виде темных пятен на флуоресцирующем фоне. Под действием длинноволнового света (365 нм) витамины и провитамины флуоресцируют.

3. Трихлорид сурьмы. Бумажную хроматограмму опрыскивают 24%-ным раствором $SbCl_3$ в $CHCl_3$ и прогревают. Витамины D дают коричневые пятна, а провитамины D и холестерин обладают слегка фиолетовым оттенком. Реагент очень ядовит!

4. Другие цветные реакции. Витамины D дают хорошо различимую окраску со многими кислотными реагентами, большинство из которых неспецифичны. Пентахлорид сурьмы* (20%-ный раствор в $CHCl_3$) – очень чувствительный реагент для хроматографического определения (коричнево-синяя окраска). Пятна коричневого цвета образуются также при использовании 33%-ного раствора трихлорида висмута в этаноле или 15%-ного раствора силиковольфрамовой или фосфорновольфрамовой кислоты в этаноле. Диметил-*п*-фенилендиамин в воде дает синюю окраску. После опрыскивания подходящим реагентом хроматограмму обычно прогревают в течение некоторого времени при 60°C. Предел обнаружения ~ 1 мкг.

Витамин E (токоферолы)

1. Дипиридилферрохлорид. Хроматограмму опрыскивают свежеприготовленной смесью 2,2′-дипиридила (0,5%) и $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (0,2%) в EtOH. Токоферолы дают ярко-красные пятна. Чувствительность 2–5 мкг. Чувствительность методики может быть значительно повышена, если 2,2′-дипиридил заменить другими реагентами, образующими комплексы с железом; особенно эффективен 4,7-дифенил-1,10-фенантролин (интенсивность окраски увеличивается в 2,5 раза).

2. УФ-свет. На бумажных хроматограммах, пропитанных $ZnCO_3$ и содержащих 10^{-4}% натрийфлуоресцеина, под действием коротковолнового УФ-света (256 нм) токоферолы могут проявляться в виде темных пятен на флуоресцирующем фоне. Хроматограммы можно также опрыскивать водным раствором натрийфлуоресцеина.

3. Феррицианид калия. Хроматограмму опрыскивают 2%-ной HCl в этаноле. Высушивают, а затем вторично опрыскивают 0,05%-ным водным раствором $K_3Fe(CN)_6$. Токоферолы дают ярко-синюю окраску. Чувствительность 1 мкг. Хроматограмму промывают в воде и высушивают в темноте.

4. Реакция диазотирования. Хроматограмму опрыскивают избытком 2%-ного раствора Na_2CO_3, а затем 0,5%-ным раствором диазотированного *о*-дианизидина. Токоферолы, не имеющие метильной группы в положении C-5, дают синюю или фиолетовую окраску, их легко можно различить. Полностью замещенные токоферолы не дают реакции.

5. Пентахлорид сурьмы. Тонкослойные хроматограммы опрыскивают 20%-ным $SbCl_5$* в $CHCl_3$ и через 3 мин наблюдают. Токоферолы дают пятна самых разных цветов, что зависит также от используемого адсорбента. Предел обнаружения 2 мкг. Оптимальная окраска появляется при 20–50 мкг.

Витамин K

1. УФ-свет. Под действием коротковолнового УФ-света витамины K проявляются в виде темных пятен на флуоресцирующем фоне.

2. Реакция диазотирования. Хроматограмму опрыскивают смесью *п*-нитроанилин (0,4%-ный раствор в 0,33 M HCl) + $NaNO_2$ (1%-ный водный раствор) + мочевина или сульфамат аммония (5%-ный водный раствор) + H_2O (1 : 1 : 1 : 7). Витамин K дает красноватое пятно.

---

* Очень ядовит!

3. Лейкометиленовый синий. Реагент: растворяют 100 мг метиленового синего в 100 мл этанола, добавляют 1 мл уксусной кислоты и 1 г цинковой пыли; перемешивают до исчезновения синей окраски. При опрыскивании хроматограммы реагентом витамины K дают синие пятна (предел обнаружения ~1 мкг), но многие другие хиноны, особенно убихиноны и пластохиноны, также дают реакцию.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Тиамин и его производные

1. УФ-свет. Тиамин и его производные сильно поглощают при 250–260 нм. Не следует использовать хроматографические растворители, поглощающие в УФ-свете, например фенол, *п*-толуолсульфоновую кислоту.

2. Феррицианид калия. Хроматограмму опрыскивают смесью 2,5%-ный раствор $K_3Fe(CN)_6$ – 10%-ный NaOH – 55%-ный EtOH (0,1 : 5 : 5). Тиамин и его эфиры окисляют до тиохромов, флуоресцирующих в УФ-свете. Чувствительность 0,5 мкг.

3. Висмутиодид калия. Реагент: 5 г висмутиодида калия добавляют к 100 мл H_2O, содержащей 0,5 мл конц. HCl. Кипятят и после охлаждения фильтруют. При опрыскивании этим реагентом производные тиамина дают пятна от красно-пурпурных до оранжевых. Фоновую окраску убирают промыванием хроматограммы в эфире, насыщенном H_2O. Чувствительность 0,1 мкг.

Пиридоксин

1. УФ-свет. Пиридоксин поглощает в УФ-свете при 297 нм.

2. 2,6-Дихлорохинонхлороимид (реагент Гиббса)*. Хроматограмму опрыскивают 0,1%-ным раствором 2,6-дихлорохинонхлороимидом в бензоле. Затем бумагу обрабатывают парами NH_3. Витамин B_6 дает синие пятна. Чувствительность 1 мкг.

3. Фенилгидразин. Хроматограмму опрыскивают насыщенным раствором фенилгидразина в 95%-ном этаноле, содержащим 10% уксусной кислоты. Пиридоксин дает желтое пятно (1 мкг).

4. Диазотированный п-аминоацетофенон. Реагент для опрыскивания состоит из следующих растворов: а) 3,18 г *п*-аминоацетофенона + 45 мл конц. HCl; разбавляют водой до 1 л. б) 2,25%-ный раствор $NaNO_2$; в) 25%-ный раствор ацетата натрия. Хроматограмму опрыскивают свежеприготовленной смесью (а) : (б) : (в) = 2 : 10 : 10. Прогревают в течение 10 мин при 50–60°C. Пиридоксин, пиридоксаль, пиридоксамин и их фосфаты дают розовые, оранжевые и желтые пятна.

Никотиновая кислота и родственные соединения

1. Реакция Кенига. Бумажную хроматограмму подвешивают в закрытом сосуде над кристаллами бромоциана и выдерживают в течение 30–60 мин. Гидразид изоникотиновой кислоты, гидразид никотиновой кислоты и гидразид изопропилизоникотиновой кислоты дают специфическую синюю флуоресценцию в УФ-свете. После обработки бромоцианом хроматограмму опрыскивают одним из растворов ароматического амина:

1) Хроматограмму опрыскивают раствором 2 г *п*-аминобензойной кислоты в 75 мл 0,75 М HCl, разбавленным до 100 мл 96%-ным этанолом. Никотиновая кислота дает желтое пятно; никотинамид – ярко-желтое; никотинмочевая кислота – оранжевое; диэтилникотинамид (корамин) – розовое. Чувствительность 0,1 мкг. Производные изоникотиновой кислоты не дают окраски или дают очень слабую.

2) Хроматограмму опрыскивают 0,25%-ным раствором бензидина в 50%-ном этаноле. Никотиновая кислота дает красно-фиолетовое пятно; изоникотиновая кислота – серовато-бледно-

---

* *Осторожно*! Близкородственные соединения взрывоопасны при температуре > 50 °C.

лиловое; никотинамид – красно-фиолетовое; корамин – фиолетовое. Чувствительность 5 мкг. *Осторожно!* Бензидин – канцероген.

2. Пикрилхлорид. Хроматограмму погружают в 1,5%-ный раствор пикрилхлорида в этаноле. Высушивают. Подвешивают в камере, наполненной парами NH_3. Пиридин, никотиновая кислота, изоникотиновая кислота, никотинамид и изоникотинамид дают красные пятна, но после обработки парами уксусной кислоты остаются красно-пурпурные пятна гидразида изоникотиновой кислоты, гидразида никотиновой кислоты и гидразида изопропилизоникотиновой кислоты. Чувствительность 5 мкг.

Пантотеновая кислота и ее производные (кофермент А)

1. Нингидрин. См. «Аминокислоты», разд. 1. Производные пантоевой кислоты дают пурпурные пятна. Пантотеновая кислота не дает окраски.

2. β-Нафтохинон-4-сульфонат (реагент Фолина). Хроматограмму опрыскивают 0,5%-ным раствором β-нафтохинон-4-сульфоната, доведенным до pH 9,2–9,4 тетраборатом натрия. Прогревают в течение 10 мин при 100°С. Пантотеновая кислота дает интенсивное желтое пятно; β-аланин – красновато-оранжевое. Выдерживают на свету в течение нескольких часов до обесцвечивания фона.

3. УФ-свет. CoA и ацетил-CoA вызывают тушение естественной флуоресценции бумаги благодаря наличию в их составе аденина.

4. Нитропруссид. Хроматограмму опрыскивают 3%-ным раствором NaOH в 95%-ном метаноле. Затем вторично опрыскивают нитропруссидным реагентом («Аминокислоты», разд. 17, пункт а). Это дает положительный тест на —SH группу алкилмеркаптанов. По другой методике предлагается хроматограмму опрыскивать 5%-ным NaCN и 5%-ным Na_2CO_3 в 25% EtOH, а затем через несколько минут вторично 2%-ным раствором нитропруссида натрия в 75%-ном этаноле. С помощью этого метода определяют наличие связей —S—S— окисленного CoA и т. д.

Инозит

1. Щелочной раствор нитрата серебра. Обнаруживают невосстанавливающие вещества с помощью смеси ацетон – $AgNO_3$ – спиртовой NaOH или аммиачного $AgNO_3$ (см. «Углеводы», разд. 1). Неспособность пятна, предположительно (по тесту с $AgNO_3$) относящегося к инозиту, реагировать с другими специфическими реагентами (см. ниже разд. 2), применяемыми для идентификации различных классов восстанавливающих сахаров, исключает по крайней мере эти типы соединений.

2. Другие реагенты на углеводы. Многие общие реагенты на углеводы, такие, как периодат, могут применяться для определения инозита.

3. Реакция с родизоновой кислотой. Реагенты: а) 10 мл конц. HNO_3 в 90 мл этанола; б) *н*-Бутанол – ледяная уксусная кислота – 10%-ный (масс./об) водный раствор ацетата бария – $CaCl_2$ (40 г + 10 г + 10 г + 0,5 г); в) 5%-ный (масс./об.) раствор $CaCl_2$ в 50%-ном водном этаноле. Хроматограмму погружают в раствор (а), прогревают при 95–100°С в течение 10 мин, обрабатывают парами NH_3 1–2 с, а затем погружают в раствор (б). Инозит дает оранжевую окраску на белом фоне; чувствительность 8–10 мкг. Для повышения чувствительности хроматограмму опрыскивают раствором (в) и прогревают при 95–100°С в течение 2 мин; наблюдается переход оранжевых пятен в розовые; чувствительность 1 мкг. По несколько измененной методике можно также определять инозитфосфат. Аминокислоты и альдогексозы не мешают, и реагент можно использовать с последующим определением аминокислот нингидрином.

Аскорбиновая кислота

1. Щелочной раствор нитрата серебра. Аскорбиновая кислота определяется путем опрыскивания различными реагентами, содержащими щелочной раствор $AgNO_3$ (см. «Углеводы», разд. 1).

2. 2,6-Дихлорофенолиндофенол (реактив Тиллманна). Реагент: 0,8 г 2,6-дихлорофенолиндофенола растворяют в 1 л воды и разбавляют равным объемом этанола. Опрыскивают хроматограмму. Аскорбиновая кислота и родственные диенолы дают бесцветные пятна на темно-синем фоне. Чувствительность 1–2 мкг.

3. Соль железа – о-фенантролин. Хроматограмму опрыскивают смесью 0,15%-ный раствор железоаммонийсульфата – 2%-ный раствор *о*-фенантролингидрохлорида (1:9). Высушивают при 80–100°С. Мочевая кислота (0,5 мкг) и аскорбиновая кислота восстанавливают Fe^{3+} до Fe^{2+}, в результате чего образуется красное пятно.

21. Носители для ионообменной и аффинной хроматографии и гель-фильтрации

1. Ионообменные смолы

Ионообменные смолы представляют собой поперечно-сшитые полимерные матрицы, к которым присоединены ионизованные или способные к ионизации группы. Большинство ионообменных смол получают на основе полистирольных (далее обозначены буквой S) или метакрилатных (A) матриц, поперечно-сшиваемых дивинилбензолом. Смола получается в виде сферических зерен или в некоторых случаях в виде гранул неопределенной формы и обладает довольно жесткой гелевой структурой. Размер пор в гелевых смолах, а значит, и размер молекул, способных диффундировать внутрь зерен смолы, зависят от степени поперечной сшивки смолы, которая в свою очередь зависит от содержания дивинилбензола. Смолы с относительно высокой степенью сшивки (8–12%) пригодны для хроматографии малых ионов, а смолы с низкой степенью сшивки (2–4%) пригодны для хроматографии больших молекул. Смолы с низкой степенью сшивки сильнее набухают в воде и обладают более низкой механической прочностью, чем полимеры с высокой степенью сшивки.

Недавно получен ряд макропористых (MP) и макросетчатых (MR) ионообменных смол. Они также получаются на основе полистирольных и полиакрилатных полимеров, но имеют большие дискретные поры, заключенные в жесткую структуру. Большие поры обеспечивают доступ к ионизуемым группам внутри зерен более крупных молекул, таких, как белки.

Многие выпускаемые ионообменные смолы имеют марку «аналитические» и «хроматографические»; они специальным образом очищаются и тщательно фракционируются по размеру частиц в установленных пределах. Ниже приведены коммерчески доступные сорта смол с указанием их основных характеристик.

Устойчивость. Приведены максимальные рабочие температуры различных смол. Большинство смол довольно устойчивы к органическим растворителям, таким, как спирты, и ко всем окислителям и восстановителям (кроме наиболее агрессивных). Большинство из них также устойчивы в широком диапазоне pH, хотя при этом они не всегда сохраняют свойства высокоэффективных ионообменников (см. ниже).

Размер частиц. При работе с ионообменной смолой, состоящей из мелких частиц, быстрее достигается равновесное состояние, что приводит к повышению эффективности данного объема смолы и более четкому разделению. Высокая эффективность разделения зависит также от разброса размеров частиц смолы. Для колоночного разделения рекомендуются частицы размером $\leqslant$ 100–200 меш; более грубые сорта больше подходят для неколоночных операций. Для обессоливания размер частиц не имеет значения.

Обменная емкость. Обменная емкость ионообменной смолы зависит не только от концентрации ионизуемых групп в смоле, но также и от степени ионизации. Ионообменники, несущие сильнокислотные или сильноосновные группы, эффективны в широком диапазоне pH. Ионообменники со слабокислотными или слабощелочными группами имеют более узкий рабочий диапазон pH, зависящий от pK_a функциональной группы.

Поставщики

1) Dow Chemical Company, США: смолы дауэкс.

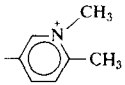
2) Bio-Rad Laboratories, США: смолы AG (по свойствам близки смолам дауэкс, аналитические); смолы биорекс; смолы хелекс.

3) Rohm and Haas Company, США: смолы амберлит.

4) Dia-Prosim Ltd.: смолы дуолит (BDH Chemicals Ltd., Великобритания). Ранее выпускались зеролиты, зеокарбы и деацидиты.

а) АНИОНООБМЕННЫЕ СМОЛЫ

Смола (марка)	Тип полимера[4]	Основность и функциональная группа	Степень сшивки, %	Размер частиц, меш (стандарт США)	Обменная емкость набухшей смолы, мэкв/мл	Содержание воды,%	Макс. рабочая темп., С	Примечания
Дауэкс 1-X2 (AG 1-X2)	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	2	Сухая смола 50–100, 100–200, 200–400, –400	0,7	70–78	50 (OH^--форма) 150 (Cl^--форма)	Ряд селективности для однозарядных анионов: I > фенолят > HSO_4 > > NO_3 > Br > CN > Cl > > HCO_3 > формиат > ацетат > OH > F.
Дауэкс 1-X4 (AG 1-4X)	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	4	Сухая смола 20–50, 50–100, 100–200, 200–400, –400	1,2	59–65	50 (OH^--форма) 150 (Cl^--форма)	
Дауэкс 1-X8 (AG 1-X8)	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	8	Сухая смола 20–50, 50–100, 100–200, 200–400, –400	1,4	39–45	50 (OH^--форма) 150 (Cl^--форма)	
AG MP-1	MP	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$		Сухая смола 20–50, 50–100, 100–200, 200–400	1,2	56–64		
Амберлит IRA-401	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	4	Набухшая смола 16–50	1,0	59–65	60 (OH^--форма) 77 (Cl^--форма)	
Амберлит IRA-402	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	6	Набухшая смола 16–50	1,25	53–60	60 (OH^--форма) 77 (Cl^--форма)	
Амберлит IRA-400	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	8	Набухшая смола 16–50	1,4	42–48	60 (OH^--форма) 77 (Cl^--форма)	
Амберлит CG-400	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	8	Сухая смола 100–200, 200 – 400	1,4		60 (OH^--форма) 77 (Cl^--форма)	Хроматографический сорт IRA-400.
Амберлит IRA-904	MR	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$		Набухшая смола 20–50	0,7	56–62	60 (OH^--форма) 77 (Cl^--форма)	
Дуолит 113	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	2–3	Набухшая смола 16–50	1,3	1,5–2,0[6]	60	Аналогичен зеролиту FF(ip) и деацидиту FF (ip).
	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	3–5	Набухшая смола 16–50	1,3	1,0–1,5[6]	60	
	S	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$	7–9	Набухшая смола 16–50, 50–100	1,3	0,6–1,0[6]	60	
Дуолит A161	MP	Сильное основание $—CH_2N^+(CH_3)_3$		Набухшая смола 16–45	1,1	53–57	60 (OH^--форма) 100 (Cl^--форма)	Аналогичен зеролиту MPF.

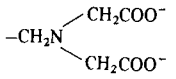
Дауэкс 2-X8 (AG 2-X8)	S	Сильное основание $-CH_2N^+(CH_3)_2C_2H_4OH$	8	Сухая смола 20–50, 50–100, 100–200, 200–400	1,4	34–40	30 (OH^--форма) 150 (Cl^--форма)	Ряд селективности для однозарядных анионов: фенолят > I > HSO_4 > > NO_3 > Br > CN > Cl > > OH > формиат > ацетат > F.
Дауэкс 2-X10 (AG 2-X10)	S	Сильное основание $-CH_2N^+(CH_3)_2C_2H_4OH$	10	Сухая смола 100–200	1,5	28–36	30 (OH^--форма) 150 (Cl^--форма)	
Амберлит IRA-410	S	Сильное основание $-CH_2N^+(CH_3)_2C_2H_4OH$	8	Набухшая смола 16–50	1,4	40–45	40 (OH^--форма) 77 (Cl^--форма)	
Дуолит A116	S	Сильное основание $-CH_2N^+(CH_3)_2C_2H_4OH$		Набухшая смола 16–50	1,4	43–50	35 (OH^--форма) 75 (Cl^--форма)	Аналогичен зеролиту N(ip) и деацидиту N(ip).
Дуолит A162	MP	Сильное основание $-CH_2N^+(CH_3)_2C_2H_4OH$		Набухшая смола 16–45	1,1	48–53	35 (OH^--форма) 75 (Cl^--форма)	Аналогичен зеролиту MPN.
Биорекс 9		Сильное основание 		Сухая смола 20–50, 50–100, 100–200, 200–400	1,3	46–54	50 (OH^--форма) 100 (Cl^--форма)	О. уст. к сильным окисл., напр. к горячей конц. HNO_3.
Биорекс 5	AA	Смешанные слабо- и сильноосновные группы; третичный амин плюс $-CH_2N^+(CH_3)_2C_2H_4OH$		Сухая смола 20–50, 50–100, 100–200, 200–400	2,8	50–58	60	
Дуолит A303	S	Смешанные слабо- и сильноосновные группы, третичный амин плюс четвертичный аммоний	7–9	Набухшая смола 16–50	1,3	46–51	70	Аналогичен зеролиту H(ip) и деацидиту H(ip).
Дуолит A378	MP	Смешанные слабо- и сильноосновные группы; третичный амин и четвертичный аммоний		Набухшая смола 16–50	1,6	55–61	60 (OH^--форма) 100 (Cl^--форма)	Аналогичен зеролиту MPH
Дауэкс 3-X4A (AG 3-X4A)	S	Слабое основание $-CH_2NR_2$	4	Сухая смола 20–50, 100–200, 200–400	1,9	40–45	65	Использ. при pH ⩽ 7.

Смола (марка)	Тип полимера[a]	Основность и функциональная группа	Степень сшивки, %	Размер частиц, меш (стандарт США)	Обменная емкость набухшей смолы, мэкв/мл	Содержание воды,%	Макс. рабочая темп., °С	Примечания
Амберлит IR-45	S	Слабое основание; третичный амин		Набухшая смола 16–50	1,9	40–45	100	Использ. при pH 1 ÷ 9.
Амберлит IRA-67	A	Слабое основание; третичный амин		Набухшая смола 18–50	1,6	56–62	75	То же самое, что амберлит IRA-47. Использ. при pH 0 ÷ 7.
Амберлит IRA-93	MR	Слабое основание; третичный амин		Набухшая смола 16–50	1,4	50–58	100	Использ. при pH 1 ÷ 7.

б) КАТИОНООБМЕННЫЕ СМОЛЫ

Смола (марка)	Тип полимера[a]	Кислотность и функциональная группа	Степень сшивки, %	Размер частиц, меш (стандарт США)	Обменная емкость набухшей смолы, мэкв/л	Содержание воды, %	Макс. рабочая темп., °С	Примечания
Дауэкс 50 W-X2 (AG 50 W-X2)	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	2	Сухая смола 50–100, 100–200, 200–400	0,7	75–83	150	Ряд селективности для однозарядных катионов: $Ag > Rb > Cs > K > > NH_4 > Na > H > Li$; для двухзарядных: $Zn > Cu > Ni > Co$.
Дауэкс 50 W-X4 (AG 50 W-X4)	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	4	Сухая смола 20–50, 50–100, 100–200, 200–400, –400	1,2	64–72	150	
Дауэкс 50 W-X8 (AG 50 W-X8)	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	8	Сухая смола 20–50, 50–100, 100–200, 200–400, –400	1,7	50–56	150	
Дауэкс 50 W-X12 (AG 50 W-X12)	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	12	Сухая смола 50–100, 100–200, 200–400, –400	2,3	42–48	150	
Дауэкс 50 W-X16 (AG 50 W-X16)	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	16	Сухая смола 200–400	2,6	36–44	150	

Амберлит IR-120	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	8	Набухшая смола 16–50	1,9	49–55	120	
Амберлит CG-120	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	8	Сухая смола 100–200, 200–400	1,9		120	Хроматографическая марка смолы амберлит IR-120.
Дуолит 225	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	4	Набухшая смола 16–50, 50–100	4,5–5,0 мэкв/г, (сухая смола)	1,2–1,6[6]	120	Аналогичен зеролиту 225 и зеокарбу 225.
	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	8	Набухшая смола 16–50, 50–100, 100–200, >200	4,5–5,0 мэкв/г (сухая смола)	0,68–0,85[6]	120	
	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	12	Набухшая смола 16–50, 50–100	4,5–5,0 мэкв/г (сухая смола)	0,46–0,7[6]	120	
Дуолит C255	S	Сильная кислота $-SO_3^-$	10	Набухшая смола 16–35	2,0	45–49	140	Аналогичен зеролиту 325 и зеокарбу 325.
Дуолит C26C	MP	Сильная кислота $-SO_3^-$	Высокая	Набухшая смола 16–50	1,8	41–47	140	Аналогичен зеролиту 625 и зеокарбу 625.
Амберлит IRC-50	A	Слабая кислота $-COO^-$	5	Набухшая смола 16–50	3,5	40–50	120	Применима в диапазоне pH 5–14.
Амберлит CG-50	A	Слабая кислота $-COO^-$	5	Сухая смола 100–200, 200–400	3,5		120	Хроматографический сорт смолы амберлит IRC-50. Использ. при pH 5 ÷ 14.
Дуолит 436	A	Слабая кислота $-COO^-$	2,5	Набухшая смола 16–50	3,7	1,1–1,5[6]	100	Использ. при pH 6 ÷ 9; уст. при pH 1 ÷ 14. То же самое, что зеролит 236.
Биорекс 70	MR, A	Слабая кислота $-COO^-$	10	Сухая смола 20–50, 50–100, 100–200, 200–400, –400	3,3	65–74	100	Ряд селективности для однозарядных катионов: $H \gg Ag > K > Na > Li$. Для двухзарядных: $H \gg \gg Fe > Ba > Sr > Ca > Mg$.

Смола (марка)	Тип полимера[а]	Кислотность и функциональная группа	Степень сшивки, %	Размер частиц, меш (стандарт США)	Обменная емкость набухшей смолы, мэкв/л	Содержание воды, %	Макс. рабочая темп., °С	Примечание
Хелекс 100	S	Слабая кислота 		Сухая смола 50–100, 100–200, 200–400, –400	0,4	68–76	75	Хелатирующая смола; более высокая селективность к двухзарядным ионам по сравнению с однозарядными. Ряд селективности: $Cu > Fe^{3+} > Ni > Zn > Ag^{+} > Co > Fe^{2+} > Mn > Ba > Ca \gg Na^{+}$. Для однозарядных катионов: $H \gg Li > Na > K$. Наиболее эффективен при pH > 4.

[а] Тип полимера: S – полистирольная смола, поперечно-сшитая дивинилбензолом; A – полиметакриловая смола, поперечно-сшитая дивинилбензолом; AA – полиалкиленаминовая смола; MP – макропористая смола; MR – макросетчатая смола.

[б] Емкость по поглощению воды: *для анионообменных смол* – масса воды, связываемой 1,0 г смолы в хлоридной форме; определяется как разность навески смолы после отделения межгранульной воды центрифугированием и после ее высушивания; *для катионообменных смол* – масса воды, связываемой 1,0 г смолы в водородной форме; определяется так же.

2. Ионообменники на основе целлюлозы

Поставщики:

Whatman Chemical Separation Ltd, Великобритания;
Bio-Rad Laboratories, США (смолы целлекс);
Serva Feinbiochemica, ФРГ (смолы сервацел);
Pharmacia Fine Chemicals, Швеция (смолы сефацел).

Типы целлюлозы:

F – целлюлозные волокна, получаемые из целлюлоз древесины или хлопка, обработанные таким образом, чтобы уменьшить содержание мелких порошкообразных частиц, и в некоторых случаях (фирма Serva) поперечно-сшитые диэпоксидами. Размер волокон может меняться в широком диапазоне.

M – микрогранулированная целлюлоза; целлюлоза, обработанная таким образом, чтобы увеличить содержание микрокристаллической целлюлозы, и поперечно-сшитая. По внешнему виду частицы этой смолы представляют собой короткие палочки, однородные по размеру, что улучшает хроматографические характеристики и делает свойства более стандартизированными.

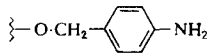
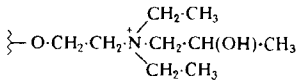
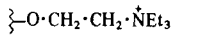
B – сферическая целлюлоза; микрокристаллическая целлюлоза, стабилизированная поперечными сшивками, частицы которой имеют форму шариков.

Обменная емкость. Приведенные данные соответствуют приблизительно максимальным значениям, получаемым при хроматографии малых ионов. На обменную емкость макромолекул могут влиять многие факторы, например pH, ионная сила, явления молекулярной эксклюзии и т. д.

Более подробную информацию об этих ионообменниках, методах работы с ними и конкретных примерах применения можно получить от поставщиков.

а) АНИОНООБМЕННЫЕ СМОЛЫ

Смола	Химический состав	Тип целлюлозы	Обменная емкость, мэкв/г	Удельный объем, мл/г сухой смолы	Примечания
АЭ-целлюлоза	Аминоэтилцеллюлоза				
Сервацел AE	$\}$–O·CH_2·CH_2·NH_2		0,3–0,4		Слабое основание. Чаще всего использ. в качестве носителя (с присоединенными через —NH_2-гр. лигандами) для аффинной хроматографии. Размер частиц 50–200 мкм.
БД-целлюлоза	Бензоилированная диэтиламиноэтил (ДЭАЭ)-целлюлоза				Слабое основание. pK_a 9. Получают бензоилированием всех гидроксильных гр. ДЭАЭ-целлюлозы, что делает ионообменник чрезвычайно гиброфобным. Поставляют в гидратированном виде.
Целлекс BD		F	0,38 ± 0,08	16	Размер частиц в набухшем состоянии 50–300 мкм.
Сервацел BD		F	0,35		
БНД-целлюлоза	Бензоилированная нафтоилированная ДЭАЭ-целлюлоза				Слабое основание. По характеристикам аналогична BD-целлюлозе, но в качестве функциональных групп содержит смесь бензоильных и нафтоильных (~10%) остатков, что делает ионообменник еще более гидрофобным.
Сервацел BND		F	0,2–0,3		Размер частиц в набухшем состоянии 50–300 мкм.
ДЭАЭ-целлюлоза	Диэтиламиноэтилцеллюлоза				
	$\}$–O·CH_2·CH_2·NEt_2				
Ватман DE23		F	1,0	8,3 (pH 6,0)	Основание средней силы. pK_a 9,5.
Ватман DE51		M	0,22	9,1 (pH 7,5)	Поставляют набухшей в цитратной форме.
Ватман DE52/32		M	1,0	6,0–6,3	DE52 – набухшая форма, DE32 – сухая форма того же материала.
Ватман DE53		M	2,0		Поставляют набухшей в хлоридной форме
Целлекс D (низкая емкость)		F	0,4 ± 0,1	8	
Целлекс D (стандартная емкость)		F	0,7 ± 0,1	6,25	
Целлекс D (высокая емкость)		F	0,9 ± 0,05	7,8	

Сервацел DEAE 23 SN		F	0,4–0,55	8,5	Размер частиц 50–200 мкм.
Сервацел DEAE 23 SS		F	0,55–0,75	7,5	Размер частиц 50–200 мкм.
Сервацел DEAE 23 SH		F	0,75–0,9	6,5	Размер частиц 50–200 мкм.
Сервацел DEAE 52/32		M	0,9–1,0	5,5	DEAE 52 – набухшая форма, DEAE 32 – сухая форма того же материала. Размер частиц 100–200 мкм.
Сервацел DEAE 80		B	0,8–1,0		Диаметр зерен смолы 50–150 мкм.
ДЭАЭ-сефацел		B	1,4 ÷ 0,1		Поставляют набухшей. Диаметр зерен 40–160 мкм.
ECTEOLA-целлюлоза	Продукт конденсации эпихлорогидрина, триэтаноламина и целлюлозы. Структура неопределенная				Слабое основание, pK_a 7,5.
Целлекс E		F	0,3 ± 0,05	3,5	
Сервацел ECTEOLA 23		F	0,3–0,4	7,5	Размер частиц 50–200 мкм.
ПАБ-целлюлоза	*n*-Аминобензилцеллюлоза 				Слабое основание. Можно диазотировать и присоединять белки, нуклеиновые кислоты и т. д.; носитель для аффинной хроматографии.
Сервацел PAB 23		F	0,15–0,2	9	Размер частиц 50–200 мкм.
ПЭИ-целлюлоза	Высокомолекулярный полиэтиленимин, адсорбированный на очень слабо фосфорилированных целлюлозных волокнах				
Сервацел PEI		F	0,1	7	Размер частиц 50–100 мкм.
ЧАЭ-целлюлоза	Аминоэтилцеллюлоза с четвертичными аммониевыми группами				Сильное основание.
Целлекс QAE		F	0,7–0,9	8	Противоион Br^-.
ТЭАЭ-целлюлоза	Триэтиламиноэтилцеллюлоза 				Основание средней силы. pK_a 9,5. Аминогр. кватернизованы, а карбоксильные гр. этерифицированы.
Целлекс T		F	0,4–0,6	6	Противоион Br^-.
Сервацел TEAE 23		F	0,55–0,75	6	Размер. частиц 50–200 мкм.

б) КАТИОНООБМЕННЫЕ СМОЛЫ

Смола	Химический состав	Тип целлюлозы	Обменная емкость, мэкв/г	Удельный объем мл/г сухой смолы	Примечания
КМ-целлюлоза	Карбоксиметилцеллюлоза				Слабая кислота. pK_a 4.
Ватман CM23	}–O·CH_2·COOH	F	0,6	9,1	Противоион Na^+.
Ватман CM52/CM32		M	1,0	6,7	CM 52 – набухшая форма; CM 32 – сухая форма того же материала. Противоион Na^+.
Целлекс CM		F	0,7 ± 0,1	7	
Сервацел CM 23		F	0,6 ± 0,1	9,5	Размер частиц 50–200 мкм.
Сервацел CM52/CM32		M	1,0	5	CM 52 – набухшая форма; CM 32 – сухая форма того же материала. Размер частиц 100–200 мкм.
Сервацел CM 80		B	1,0 ± 0,1	~12	Диаметр шариков 50–150 мкм.
Гидроксифенилазонафтилцеллюлоза					Слабый катионообменник, обладающий хелатирующими свойствами. Высокоселективен к тяжелым металлам.
Сервацел CHEL		F	0,4–0,5		Размер частиц ~ 70 мкм.
Ф-Целлюлоза	Фосфоцеллюлоза				Двухосновная кислота. pK_a 1,5; 6.
Ватман P1	}–O–PO_3H_2	Floc	3,7 (диссоциация по 1-й ступени) 5,7 (полиая диссоциация)		Противоион моно-NH_4^+.
Ватман P11		F	3,2 (диссоциация по 1-й ступени) 5,2 (полная диссоциация)		Противоион моно-NH_4^+.
Целлекс P		F	0,85 ± 0,1	4,5	
Сервацел P23		F	0,8–0,9	4,5	Размер частиц 50–200 мкм.
Сервацел P80		B	1,0 ± 0,1	~6	Диаметр шариков 50–150 мкм.
СЭ-целлюлоза	Сульфоэтилцеллюлоза				Сильная кислота.
Ватман SE53	}–O·CH_2·CH_2·SO_3^-	M	2,3		Противоион Na^+. Поставляется в набухшей форме.
Сервацел SE 23		F	0,2–0,3	5,5	Размер частиц 50–200 мкм.
Сервацел SE 80		B	0,2–0,3	~10	Диаметр шариков 50–150 мкм.

3. Декстрановые и агарозные ионообменники

Эти ионообменники получают на основе носителей для гель-фильтрации – поперечно-сшитых декстранов (сефадекс) или агароз (сефароза CL, биогель А). Они обладают свойствами ионообменников и гель-фильтрующих материалов и гораздо меньшей обменной емкостью к молекулам, превышающим по своим размерам предел эксклюзии ионообменника в условиях эксперимента. Из-за наличия заряженных групп степень набухания таких смол и, следовательно, предел эксклюзии варьируют в зависимости от pH и ионной силы (нехарактерным для гель-фильтрующих материалов образом).

Смола	Химический состав	Носитель	Обменная емкость, мэкв/г	Удельный объем[a], мл/г сухой смолы	Примечания
Анионообменники					
ДЭАЭ	$\sim O \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot NEt_2$				Основание средней силы. pK_a 9,5
ДЭАЭ-сефадекс А-25		Сефадекс G-25	$3,5 \pm 0,5$	5	
ДЭАЭ-сефадекс А-50		Сефадекс G-50	$3,5 \pm 0,5$	28	
ДЭАЭ-сефароза CL-6B		Сефароза CL-6B	$0,15 \pm 0,02$[6]	Набухшая смола	Предел эксклюзии $\sim 1 \cdot 10^6$
ДЭАЭ-биогель А		Биогель А (4% агарозы)	$0,02 \pm 0,005$[6]	Набухшая смола	
ЧАЭ	$\sim O \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot \overset{+}{N}(Et)(Et) - CH_2 \cdot CH(OH) \cdot CH_3$				Сильное основание.
ЧАЭ-сефадекс А-25		Сефадекс G-25	$3,0 \pm 0,4$	6	
ЧАЭ-сефадекс А-50		Сефадекс G-50	$3,0 \pm 0,4$	38	
Катионообменники					
КМ	$\sim O - CH_2 \cdot COOH$				Слабая кислота. pK_a 4.
КМ-сефадекс С-25		Сефадекс G-25	$4,5 \pm 0,5$	10	Противоион Na^+.
КМ-сефадекс С-50		Сефадекс G-50	$4,5 \pm 0,5$	45	Противоион Na^+.
КМ-сефароза CL-6B		Сефароза CL-6B	$0,12 \pm 0,02$[6]	Набухшая смола	Предел эксклюзии $\sim 1 \cdot 10^6$.
КМ-биогель А		Биогель А (4% агарозы)	$0,02 \pm 0,05$[6]	Набухшая смола	
СП (сульфопропил)	$\sim O \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot SO_3^-$				Сильная кислота.
СП-сефадекс С-25		Сефадекс G-25	$2,3 \pm 0,3$	7	Противоион Na^+.
СП-сефадекс С-50		Сефадекс G-50	$2,3 \pm 0,3$	38	Противоион Na^+.

[a] Удельный объем смолы в набухшем состоянии может варьировать в зависимости от ионной силы и pH буферного раствора. Значения приведены для $I = 0,05$ и pH 8 (анионообменники) или pH 6 (катионообменники). Влияние ионной силы сильнее всего проявляется в случае ионообменников на основе сефадекса 50, у которых удельный объем чрезвычайно резко падает с увеличением ионной силы до значения $I = 0,1$. Подробнее см. в литературе, издаваемой фирмой-поставщиком [Ion exchange chromatography: principles and methods, Pharmacia].

[6] Обменная емкость набухшего геля.

4. Носители для гель-фильтрации

а) СЕФАДЕКСЫ И БИОГЕЛИ МАРКИ Р

Сефадекс (Pharmacia Fine Chemicals, Швеция). *Серия G:* Сферические декстрановые гели, поперечно-сшитые эпихлорогидрином. Чрезвычайно гидрофильные, набухают в воде и водных солевых растворах. Различные типы гелей имеют различные степени сшивки и, следовательно, различаются по степени набухания, размерам пор и интервалу фракционирования. Степень набухания практически не зависит от солей и детергентов, в то время как интервал фракционирования меняется под действием солей, хаотропных агентов, детергентов. Сефадексы устойчивы при pH $2 \div 12$ в присутствии мочевины и детергентов и в органических растворителях. Разрушаются в сильных кислотах и в результате длительного воздействия окислителей. Можно стерилизовать автоклавированием при 120°C; при температурах > 120°C начинают карамелизоваться.

Серия LH: LH-20 и LH-60 получают из G-25 и G-50 путем гидроксипропилирования. Характер разделения может определяться не только гель-фильтрацией, но также адсорбционной и распределительной хроматографией. Устойчивость такая же, как и у серии G. Могут быть использованы в органических или водно-органических растворах. Степень набухания и, следовательно, эффективный интервал фракционирования зависят от используемого растворителя и конформации фракционируемых веществ.

Биогель Р (Bio-Rad Laboratories, США). Сферические гранулы полиакриламида, получаемые сополимеризацией акриламида и N,N′-метиленбисакриламида. Размер пор регулируется содержанием используемого поперечно-сшивающего реагента. Устойчив в органических растворителях (но в большинстве из них не набухает и, таким образом, не может быть в них использован), солевых растворах, детергентах, 8 М мочевине, 6 М гуанидин-HCl. Устойчив при pH $2 \div 10$; амидные группы гидролизуются при более высоких и более низких pH. Окисляется под действием сильных окислителей. Может быть автоклавирован при 120°C и pH $5{,}5 \div 6{,}5$.

Смола	Диаметр гранул[а], мкм	Интервал фракционирования и предел эксклюзии (M)[б]		Емкость по поглощению воды, г H_2O/г сухого геля	Удельный объем, мл/г сухого геля	Рекомендуемое рабочее давление (максимальное), см H_2O	Макс. скорость протекания[в] см/h
		Пептиды/белки	Декстраны				
Сефадекс G	(диаметр гранул сухой смолы)						
G-10	40–120	до 700	до 700	1,0 ± 0,1	2–3	Не ограничено	—
G-15	40–120	до 1500	до 1500	1,5 ± 0,2	2,5–3,5	То же	—
G-25 Coarse	100–300	1000–5000	100–5000	2,5 ± 0,2	4–6	»	—
Medium	50–150						
Fine	20–80						
Superfine	10–40						
G-50 Coarse	100–300	1500–30000	50–10000	5,0 ± 0,3	9–11	»	—
Medium	50–150						
Fine	20–80						
Superfine	10–40						
G-75	40–120	3000–80000	1000–50000	7,5 ± 0,5	12–15	160	77
Superfine	10–40	3000–70000				160	18
G-100	40–120	4000–150000	1000–100000	10,0 ± 1,0	15–20	96	50
Superfine	10–40	4000–100000				96	12
G-150	40–120	5000–300000	1000–150000	15,0 ± 1,5	20–30	36	23
Superfine	10–40	5000–150000			18–22	36	6
G-200	40–120	5000–600000	1000–200000	20,0 ± 2,0	30–40	16	12
Superfine	10–40	5000–250000			20–25	16	3
Сефадекс LH							
LH-20	40–120	100–4000 (EtOH)[г] 100–2000 ($CHCl_3$)[г]			4 (H_2O, EtOH, $CHCl_3$)[д]		
LH-60	40–120	400–10000 (H_2O, MeOH)[г] 400–20000 ($CHCl_3$)[г]			12–13 (H_2O, EtOH, $CHCl_3$)[д]		
Биогель P	(диаметр гранул набухшей смолы)						
P-2 Coarse	150–300	100–1800		1,5 ± 0,2	3,5	> 100	
Medium	80–150						
Fine	40–80						
Extra fine	< 40						
P-4 Coarse	150–300	800–4000		2,4 ± 0,2	5	> 100	
Medium	80–150						
Fine	40–80						
Extra fine	< 40						
P-6 Coarse	150–300	1000–6000		3,7 ± 0,4	7	> 100	
Medium	80–150						
Fine	40–80						
Extra fine	< 40						

P-10 Coarse	150–300	1500–20000	4,5 ± 0,5	9	> 100
Medium	80–150				
Fine	40–80				
Extra fine	< 40				
P-30 Coarse	150–300	2500–40 000	5,7 ± 0,6	11	> 100
Fine	80–150				
Extra fine	< 80				
P-60 Coarse	150–300	3000–60 000	7,2 ± 0,7	14	100
Fine	80–150				
Extra fine	< 80				
P-100 Coarse	150–300	5000–100 000	7,5 ± 0,7	15	100
Fine	80–150				
Extra fine	< 80				
P-150 Coarse	150–300	15 000–150 000	9,2 ± 1,0	18	100
Fine	80–150				
Extra fine	< 80				
P-200 Coarse	150–300	30 000–200 000	14,7 ± 1,5	25	75
Fine	80–150				
Extra fine	< 80				
P-300 Coarse	150–300	60 000–400 000	18,0 ± 2,0	30	60
Fine	80–150				
Extra fine	< 80				

[а] Приведен диаметр гранул сухого сефадекса; диаметр набухших гранул биогеля Р.

[б] Большее по значению число в каждой паре – это предел эксклюзии. Интервалы фракционирования определены по (а) пептидам или глобулярным белкам и (б) декстранам, представляющим собой макромолекулы более вытянутой конфигурации.

[в] Скорость протекания (значения приблизительные) измерена на колонках диаметром 2,5 см и высотой 30 см.

[г] В случае сефадексов LH-20 и LH-60 интервал фракционирования, количество связанного растворителя и удельный объем набухшей смолы зависят от используемого растворителя. Интервал фракционирования определен по полиэтиленгликолю и полистиролу.

[д] Удельный объем набухшей смолы зависит от используемого растворителя. Информацию по другим растворителям см. в литературе, выпускаемой фирмой-изготовителем.

Времена набухания или гидратации

Температура, °С	Время для сефадексов			Время для биогелей Р			
	G-10 ÷ G-50	G-75	G-100 ÷ G-200	P-2 ÷ P-10	P-30 ÷ P-60	P-100 ÷ P-150	P-200 ÷ P-300
20	3	24	72	4	12	24	48
90–100	1	3	5	2	3	5	5

б) НОСИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ГЕЛЕЙ АГАРОЗЫ

Биогель А (фирма Bio-Rad). Носители сферической формы на основе гелей агарозы, содержащие очень мало заряженных групп. Интервал фракционирования определяется концентрацией агарозы в гранулах. Совместим со всеми обычными буферными растворами. Гели, содержащие $> 2\%$ агарозы, устойчивы к 6 М гуанидингидрохлориду и 7 М мочевине, хотя и может произойти небольшая усадка; гели с содержанием агарозы $< 2\%$ под действием указанных агентов претерпевают структурную деградацию. Гель устойчив при pH $4 \div 10$; устойчив к действию 0,1 М NaOH или 1 М HCl в течение 2–3 ч; может разрушаться под действием окислителей. Интервал рабочих температур 2–30°С; размягчается при температуре > 40°С. Замораживание вызывает разрушение гелевой структуры. Поставляют в набухшем состоянии.

Сефароза (фирма Pharmacia). Носители на основе гелей агарозы, содержащие очень мало заряженных групп. Интервал фракционирования определяется концентрацией агарозы в гранулах. Устойчив в водных растворах при pH $4 \div 9$. Может быть использован в растворах, содержащих высокие концентрации солей, мочевины, гуанидингидрохлорида, хотя в условиях, способствующих сильной диссоциации, предпочтительнее использовать сефарозу CL. Разрушается под действием окислителей. Плавится при нагревании; не следует использовать при температуре > 40°С. Можно стерилизовать химическим способом, например путем обработки диэтилпирокарбонатом, но не путем автоклавирования. Не замораживать; замораживание разрушает структуру зерен.

Сефароза CL–это носитель на основе поперечно-сшитого агарозного геля, получаемый в результате обработки соответствующего типа сефарозы 2,3-дибромпропаном. Поперечное сшивание повышает химическую, термическую и механическую стабильность. Устойчив при pH $3 \div 14$, в 8 М мочевине, 6 М гуанидингидрохлориде, 3 М KSCN. Можно использовать во многих органических растворителях и при температурах < 70°С; устойчив к автоклавированию при 120°С и pH 7. Разрушается в присутствии окислителей.

Сефароза и сефароза CL поставляются в набухшем состоянии.

Смола	Содержание агарозы в геле, %	Диаметр гранул набухшей смолы, мкм	Интервал фракционирования и предел эксклюзии (M)[a]		Рекомендуемое рабочее давление (максимальное). см H_2O	Скорость протекания[б], см/h
			Белки	Полисахариды		
Биогель А						
A-0,5 m Coarse	10	150 ÷ 300	< 10 000 ÷ 500 000		> 100	
Medium		80 ÷ 150				
Fine		40 ÷ 80				
A-1,5 m Coarse	8	150 ÷ 300	< 10 000 ÷ $1{,}5 \cdot 10^6$		> 100	
Medium		80 ÷ 150				
Fine		40 ÷ 80				
A-5 m Coarse	6	150 ÷ 300	10 000 ÷ $5 \cdot 10^6$		> 100	
Medium		80 ÷ 150				
Fine		40 ÷ 80				
A-15 Coarse	4	150 ÷ 300	40 000 ÷ $15 \cdot 10^6$		90	
Medium		80 ÷ 150				
Fine		40 ÷ 80				
A-50 m Coarse	2	150 ÷ 300	100 000 ÷ $50 \cdot 10^6$		50	
Fine		80 ÷ 150				
A-150 m Coarse	1	150 ÷ 300	$1 \cdot 10^6$ ÷ > $150 \cdot 10^6$		30	
Fine		80 ÷ 150				
Сефароза						
6B	6	45 ÷ 165	10 000 ÷ $4 \cdot 10^6$	10 000 ÷ $1 \cdot 10^6$	90	14
4B	4	60 ÷ 140	60 000 ÷ $20 \cdot 10^6$	30 000 ÷ $5 \cdot 10^6$	60	11,5
2B	2	60 ÷ 200	70 000 ÷ $40 \cdot 10^6$	100 000 ÷ $20 \cdot 10^6$	30	10
Сефароза CL						
CL-6B	6	45 ÷ 165	10 000 ÷ $4 \cdot 10^6$	10 000 ÷ $1 \cdot 10^6$	> 120	30
CL-4B	4	60 ÷ 140	60 000 ÷ $20 \cdot 10^6$	30 000 ÷ $5 \cdot 10^6$	120	26
CL-2B	2	60 ÷ 200	70 000 ÷ $40 \cdot 10^6$	100 000 ÷ $20 \cdot 10^6$	50	15

[a] Наибольшее число в каждой паре – это предел эксклюзии.
[б] Максимальная скорость протекания (приблизительно) измерена на колонках диаметром 2,5 см и высотой 30 см.

в) СЕФАКРИЛ

Сефакрил (фирма Pharmacia). Зернистый гель, получаемый ковалентным сшиванием аллилдекстрана N,N′-метиленбисакриламидом. Поперечное сшивание обеспечивает высокую химическую и термическую устойчивость и механическую прочность. Гель может быть использован в водных буферных системах при pH 2 ÷ 11, в ДСН, 8 М мочевине и 6 М гуанидингидрохлориде и ряде органических растворителей, хотя последние могут вызывать небольшое уменьшение объема геля по сравнению с объемом в воде. Структура геля не меняется при нагревании, гель можно неоднократно автоклавировать при 120°C и pH 7. Поставляется в набухшем состоянии. Благодаря жесткой структуре гель может выдерживать высокое рабочее давление (до 150–300 см H_2O), что позволяет использовать высокие скорости фильтрации (до 25–40 см/ч), которые и рекомендуются при колоночной хроматографии. Для фракционирования со средним уровнем разрешения рекомендуется скорость фильтрации 10 см/ч; для высокого разрешения следует использовать более низкие скорости фильтрации.

Смола	Диаметр гранул набухшей смолы, мкм	Интервал фракционирования и предел эксклюзии (M)[a]	
		белок	полисахариды
Сефакрил			
S-200 Superfine	40–105	5000–250000	1000–80000
S-300 Superfine	40–105	10000–$1{,}5 \cdot 10^6$	1000–400000
S-400 Superfine	40–105	20000–$8 \cdot 10^6$	10000–$2 \cdot 10^6$
S-500 Superfine	40–105		40000–$20 \cdot 10^6$
S-1000 Superfine	40–105		500000–$> 10^8$ (предел эксклюзии для частиц–диам. 300–400 нм)

[a] Наибольшее число в каждом интервале – предел эксклюзии.

5. Аффинная хроматография

В основе аффинной хроматографии лежит специфическое взаимодействие белков (или других биологических молекул) с лигандами, иммобилизованными с помощью ковалентных связей на нерастворимом носителе. Например, фермент может взаимодействовать с иммобилизованным субстратом или аналогом субстрата, иммобилизованный лектин взаимодействовать с углеводным остатком гликопротеина или рецепторный белок со своим специфическим лигандом. Для элюирования абсорбированного белка можно использовать специфические элюенты, например лиганд или его аналог, или неспецифические факторы, такие, как концентрация соли или pH.

Адсорбенты для аффинной хроматографии обычно состоят из трех ковалентно-связанных компонентов, нерастворимого носителя, «ножки» (спейсера) и специфического лиганда.

Нерастворимый носитель. Наиболее часто используемый носитель – это зернистая 4%- или 6%-ная агароза, которая может быть стабилизирована поперечным сшиванием эпихлорогидрином, дивинилсульфоном или бисэпоксидом (бисоксираном). Носитель на основе целлюлозы обычно используется для олигонуклеотидных лигандов, например олиго-dT-целлюлоза. В числе других используемых носителей – поперечно-сшитый декстран, полиакриламид, гидроксиалкилметакрилатные полимеры, модифицированные стекла и силикагели.

Ножка (спейсер). Если низкомолекулярный лиганд прособединять непосредственно к носителю, возникающие стерические эффекты могут препятствовать взаимодействию лиганда со специфичным белком. Чтобы предотвратить это, между носителем и лигандом вводится спейсер. Для этой цели обычно используют углеводородные цепи, содержащие 6 или 8 атомов углерода, при этом лиганд удаляется от матрицы на расстояние 5 ÷ 10Å, но иногда используются и более длинные углеводородные цепи длиной до 17 атомов углерода. Углеводородные спейсеры могут влиять на

адсорбцию некоторых макромолекул, вступая в гидрофобные взаимодействия с ними; в связи с этим в некоторых случаях предпочтительнее использовать спейсеры, содержащие гидрофильные группы. Если лиганд – макромолекула, например белок, то обычно нет иеобходимости в спейсере; макромолекулярный лиганд можно закрепить непосредственно на твердом носителе.

В разд. «Материалы для получения аффинных сорбентов» приведены структуры некоторых широко используемых спейсеров и показаны способы их закрепления на матрице; приведены также концевые реакционноспособные группы, с помощью которых ковалентно присоединяется лиганд.

Лиганд. Любая молекула, низкомолекулярная или высокомолекулярная, способная специфически взаимодействовать с белком, нуклеиновой кислотой или другой молекулой, которую нужно очистить, потенциально может быть пригодна в качестве лиганда для аффинной хроматографии. Многие лиганды, такие, как субстраты ферментов, лектины или антигены, взаимодействуют только с одним типом белка или по крайней мере с очень ограниченным кругом белков. Другие, такие, как коферменты (NAD, NADP), нуклеотиды (ATP, AMP, cAMP и т. д.) и иммобилизованные красители, специфически взаимодействуют с более широким, хотя и ограниченным кругом макромолекул и известны как группспецифические лиганды.

В настоящее время коммерчески доступен широкий набор иммобилизованных лигандов. В разд. «Лиганды, используемые в коммерчески доступных аффинных сорбентах» перечислены основные классы лигаидов, а также приведены примеры лигандов, которые имеются у поставщиков. Для получения более подробных сведений относительно применения таких сорбентов целесообразнее пользоваться справочной литературой, выпускаемой изготовителями.

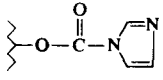
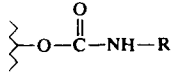
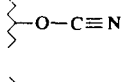
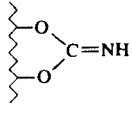
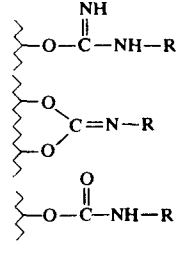
Получение аффинных сорбентов. В ряде случаев необходимо или удобно получать аффинные сорбенты для конкретной цели. Это можно сделать с помощью реакции между выбранным лигандом и либо активированным производным агарозы или другого твердого носителя, либо модифицированной агарозой, несущей спейсер, оканчивающийся реакционноспособной группой. В разд. «Материалы для получения аффинных сорбентов» перечислены коммерчески доступные активированные агарозы с присоединенными спейсерами. Используя их в качестве исходного материала, можно легко получить аффинный сорбент в мягких условиях прямыми методами.

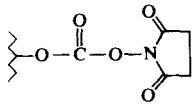
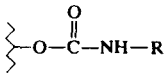
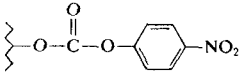
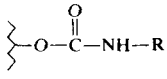
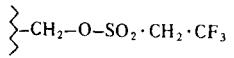
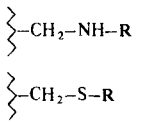
Поставщики:

I. Pharmacia P-L Biochemicals, Швеция и Великобритания
II. Sigma Chemical Company, США и Великобритания
III. Bio-Rad Laboratories, США и Великобритания
IV. Pierce Chemical Company, США и Великобритания

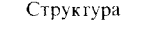
Литература. Meth. Enzymol., vol. **34** (1974) и **104** (1984). Laboratory Techniques in Biochemistry and Molecular Biology, ed. T. S. Work, vol. 7, p. 267, Elsevier-North Holland (1979). Techniques in the Life Sciences, vol. BS 1/1, Techniques in Protein and Enzyme Biochemistry, Part 1 Supplement, section BS103, Elsevier (1984).

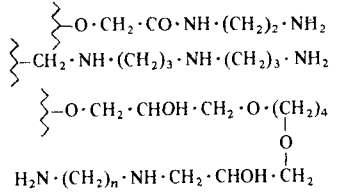
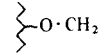
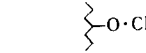
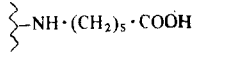
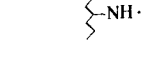
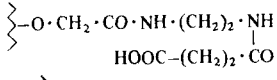
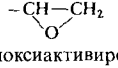
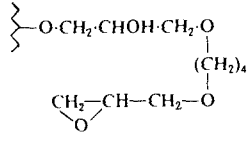
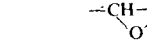
А. АКТИВИРОВАННЫЕ АГАРОЗЫ

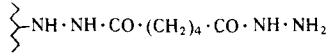
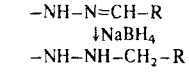
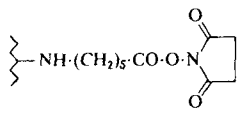
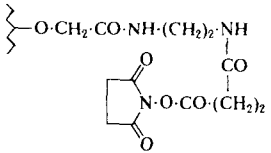
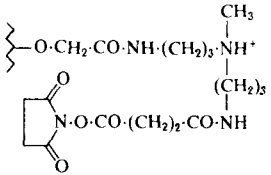
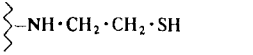
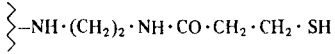
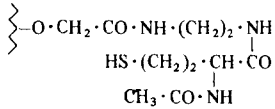
Тип активации	Активная группа активированного геля	Активная группа лиганда	Способ присоединения лиганда к гелю	Поставщики	Примечания
С помощью карбонилдиимидазола		$R\text{-}NH_2$		IV (Reacti-Gel (6X))	Альтернативный способ активации (помимо активации CNBr) для присоединения белков непосредственно к агарозе. Продукт присоединения более уст., чем в случае активации CNBr, что снижает потери лиганда, а карбаматная гр. не заряжена. Имидазолилкарбаматная гр. активированного геля очень медл. гидрол. в мягких щел. усл. (период полупревращения измеряется в ч). Выпускаются носители, у которых в качестве нерастворимой матрицы служат поперечносшитый гранулированный декстран, стеклянные шарики с контролируемым размером пор или фрактогель TSK HW-65F.
С помощью бромоциана CNBr	  плюс минорные компоненты	$R\text{-}NH_2$		I, II	Наиболее широко использ. и лучше всего описанный метод присоединения белков и нуклеиновых кисл. непосредственно к агарозе. Получается по р-ции CNBr с агарозой. (*Осторожно!* Бромоциан чрезвычайно токсичен и взрывоопасен). Механизм активации и присоединения сложный, изображены только главные активные гр. и продукты р-ции. В агарозе, активированной CNBr, циановые эфиры – более активные гр., но неуст. в щел. усл. (уст. при $pH < 4$), в то время как циклические имидокарбонатные гр. уст. в щел., но менее активны. В продукте присоединения N-замещенные гр. изомочевины не вполне уст., что приводит к некоторой потере лиганда. Изомочевинная

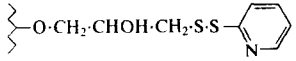
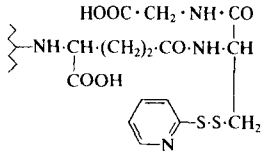
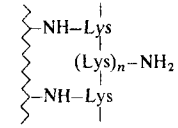
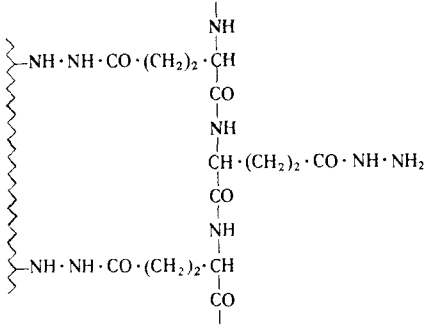
					гр. несет также положительный заряд ($pK_a \sim 9{,}5$), что придает сорбенту ионообменные св-ва. Обсуждение этих проблем см. в [Biochem. Int. 4, 629 (1982); Meth. Enzymol. 34, 96 (1974); **104**, 3 (1984)].
С помощью N-гидроксиукцинимида		$R\text{-}NH_2$ (R-SH)		II	Получается по реакции N-гидроксисукцинимидхлороформиата с агарозой. N-Гидроксисукцинимидэфирная связь в активированном геле быстро гидрол. при pH > 8,5. Продукт присоединения более уст. (меньшие потери лиганда), чем в случае CNBr-активации, и присоединившаяся гр. не заряжена.
С помощью *n*-нитрофенила		$R\text{-}NH_2$		II	Получают по р-ции n-нитрофенилхлороформиата с агарозой. Продукт присоединения более уст. (меньшие потери лиганда), чем в случае CNBr-активации, и присоединившаяся гр. не заряжена.
С помощью трезила		$R\text{-}NH_2$ R-SH		I	Получают по р-ции 2,2,2-трифторэтансульфонилхлорида (трезилхлорида) с агарозой. Активированный гель уст. на хол. в течение ночи при pH 7,5, несколько нед. в 1 мМ HCl. Активированный гель реагирует с сульфгидрильными гр., а также с аминогр. с образованием уст. связей.

Б. АГАРОЗЫ С ПРИСОЕДИНЕННЫМИ СПЕЙСЕРАМИ

Тип	Структура	Активная группа лиганда	Способ присоединения лиганда к гелю	Поставщики	Примечания
Спейсер, содержащий на конце аминогруппу		R-COOH	—NH—CO—R	I, II	Коммерчески доступны продукты с $n = 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10$ и 12. Спейсеры можно удлинить путем обработки янтарным ангидридом. Присоединение обычно осуществляют с по-

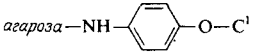
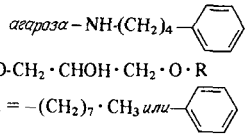
Тип	Структура	Активная группа лиганда	Способ присоединения лиганда к гелю	Поставщикн	Примечания
					мощью водорастворимого карбодиимида, такого, как 1-этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодиимид (EDAC)
		R-COOH	—NH—CO—R	III (аффигель 102)	Шестиатомный гидрофильный спейсер.
		R-COOH	—NH—CO—R	IV	Девятиатомный спейсер.
		R-COOH	—NH—CO—R	II	Диаминоалкан присоединяется к эпоксиактивированной агарозе, образуя спейсер, содержащий 13 + n атомов. Коммерчески доступны продукты с n = 2, 3, 6 и 10.
Спейсер, содержащий на конце карбоксильную группу —COOH		$R\text{-}NH_2$		III	Присоединение обычно осуществляют с помощью водорастворимого карбодиимида, такого, как 1-этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодиимид (EDAC).
		$R\text{-}NH_2$		I (КГ-сефароза), II	
			—CO—NH—R	III (аффигель 202)	Гидрофильный 10-атомный спейсер.
Спейсер, содержащий на конце эпоксигруппу  (эпоксиактивированная агароза)				I, II	Получают по р-ции агарозы с бисэпоксидом (бисоксираном), 1,4-бис-(2,3-пропокси)бутаном (диглицидным эфиром бутандиола-1,4). Образует 12-атомный спейсер в результате присоединения лиганда. Для присоединения лиганда необходимы высокие pH, напр. 12 ÷ 13, в этих усл. спейсер не отщепляется от агарозы. Таким путем модифицированная агароза взаимодействует с амино-
		$R\text{-}NH_2$ R-OH R-SH	—CHOH—CH_2—NH—R —CHOH—CH_2—O—R —CHOH—CH_2—S—R		

					гидроксильными и сульфгидрильными гр., образуя уст. вторичные амины, эфирные и сульфгидрильные связи. Обеспечивает возможность присоединения гидроксилсодержащих лигандов, напр. углеводов.
Спейсер, содержащий на конце гидразидную группу —$NHNH_2$		R-CHO		I, II	Пригодна для взаимодействия с альдегидными гр., образующимися, например, в результате периодатного окисл. углеводов и нуклеотидов.
Спейсер, содержащий на конце N-гидроксисукцинимидэфирную группу (N-гидроксисукцинимидактивированная агароза)		$R-NH_2$	—CO—NH—R	I (активированная КГ-сефароза), II	Образует шестиатомный гидрофобный спейсер. Эфир гидроксисукцинимида быстро гидр. при pH > 8,5.
		$R-NH_2$	—CO—NH—R	III (аффигель 10)	Гидрофильный незаряженный 10-атомный спейсер.
		$R-NH_2$	—CO—NH—R	III (аффигель 15)	Гидрофильный катионный 15-атомный спейсер.
Спейсер, содержащий на конце тиольную группу —SH		R-SH	—S—S—R	I, II	Обратимое присоединение лиганда дисульфидной связью.
		R-SH	—S—S—R	I (агтиол)	
		R-SH	—S—S—R	III (аффигель 401), IV	Получают путем присоединения N-ацетилгомоцистеина к спейсеру.

Тип	Структура	Активная группа лиганда	Способ присоединения лиганда к гелю	Поставщики	Примечания
Спейсер, содержащий на конце группы, реагирующие с тиольными группами		R-SH	—S—S—R	I (тиопропилсефароза), II	Обратимо взаимодействует с тиольными соединеннями, включая белки, содержащие тиольные гр., путем дисульфидного обмена.
		R-SH	—S—S—R	I (активированная тиопропилсефароза), II	Спейсер представляет собой глутатион. Обратимо взаимодействует с тиольными соединениями, включая белки, путем дисульфидного обмена.
Многозарядные спейсеры: поли-L-лизин		R-COOH	—NH—CO—R	II, IV	Поли-L-лизин присоединяется по многим местам агарозы через ε-аминогруппы. Многоцентровое присоединение уменьшает потери лиганда.
Полиакрилгидразидагароза					Многоцентровое присоединение снижает потери лиганда. Получение сорбента и присоединение лиганда см. в [Meth. Enzymol. **34,** 72 (1974); **104**, 14 (1984)].

ЛИГАНДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОММЕРЧЕСКИ ДОСТУПНЫХ АФФИННЫХ СОРБЕНТАХ

Класс лиганда	Примеры	Примечания
Нуклеотиды	ATP, ADP, 5′-AMP, 2′-AMP, 3′,5′-cAMP, 2′,5′-ADP, 3′,5′-ADP, dATP, Ap_5A, аденозин, CTP, CDP, 5′-CMP, GTP, GDP, 5′-GMP, 7-метил-GTP, UTP, UDP, 5′-UMP, UDP-глюкуроновая кислота.	Наиболее распространенный способ присоединения через C_6-гидразидный спейсер, взаимодействующий с альдегидными гр., образующимися в результате периодатного окисления рибозного остатка в нуклеотидах. Имеются также сорбенты со спейсерами различной длины, к которым присоединены адениннуклеотиды через N-6 аминогр. или C-8. В некоторых сорбентах присоединение осуществляется к *п* -аминофенольному спейсеру через фосфатную гр. 2′5′-ADP и 3′5′-ADP–группспецифические лиганды соответственно для NADP- и CoA-зависимых ферментов.
Олигонуклеотиды и полинуклеотиды	Олиго-dT, олиго-dA, олиго-dC, олиго-dG, олиго-dI, ДНК (природная и денатурированная). Поли-rA, поли-rC, поли-rG, поли-rI, поли-rU, поли-rI·поли-rC, ДНК (денатурированная).	Присоединяются через 5′-фосфатную гр. к целлюлозному носителю. Олигонуклеотиды длиной < 20 нуклеотидных остатков. Присоединяются к агарозному носителю.
Коферменты и витамины	NAD, NADP, FMN, CoA, HMG-CoA, биотин, дезтиобиотин, иминобиотин, др. аналоги биотина, метотрексат.	Имеются NAD и NADP с 6- или 8-атомными спейсерами, присоединенными через N-6 аминогр., C-8 или окисленный периодатом рибозный остаток аденина. CoA может связываться —SH или иметь свободную —SH. Биотин и его аналоги обычно присоединяют к спейсеру через карбоксильную гр. боковой цепи.
Аминокислоты, пептиды и амины	Все 20 L-аминокислот, найденных в белках, D-аргинин, D-фенилаланин, D-триптофан, L-тироксин, глутатион (восстановленный и окисленный), гексил-GSH, сульфобромофталеин-S-GSH, 5-гидрокситриптамин, гистамин, спермин, цестеамин, пепстатин.	Присоединяются непосредственно к CNBr-активированной агарозе через аминогр. Некоторые аминокислоты присоединяются к носителю через спейсер.
Белки, лектины	Многие лектины, включая: конканавалин А, лектин земляного ореха; лектинсвязывающий белок А (*Dolichos biflorus*), лектин *Helix pomatia*, лектин сои, лектин чечевицы, эритроцитагглютинирующий фитогемагглютинин (*Phaseolus vulgaris*), лектин гороха, лектин пшеницы.	Почти во всех случаях лектин непосредственно присоединяется к CNBr-активированной агарозе. Использ. др. методов активации агарозы должно снизить потери лиганда.
Другие белки	Иммуноглобулины, белок А (*Staph. aureus*), авидин (мономер или тетрамер), ингибитор трипсина (бобы сои и римской фасоли), кальмодулин, парвальбумин, желатин, гемоглобин, овальбумин, α-лактальбумин, протамин, инсулин, многие ферменты.	Большинство белков может быть иммобилизовано в мягких условиях на CNBr-активированной агарозе или агарозе, активированной другим методом.

Класс лиганда	Примеры	Примечания
Углеводы	D-ксилоза, L-фруктоза, D-глюкоза, D-галактоза, Д-манноза, D-глюкозамин, N-ацетил-D-глюкозамин, D-галактозамин, N-ацетил-D-галактозамин, D-лактоза, D-мелибиоза, D-мальтоза, гепарин.	Моно- и дисахара обычно присоединяют по гликозидной (или тиогликозидной) связи к *п*-аминофенольному спейсеру:  или гликозидамидной связью к спейсеру на основе аминогексановой кислоты: агароза-$NH(CH_2)_5CONH$-C^1 в составе сахара. В обоих этих типах присоединения необходимо точно устанавливать конфигурацию сахара у С-1 (α или β). Другие способы иммобилизации включают присоединение через гидроксил при С-6 к эпоксиактивированной агарозе, присоединение через С-1 к дивинилсульфоновому спейсеру и присоединение аминосахаров через аминогруппу к спейсеру на основе аминогексановой кисл. Аффинные сорбенты с углеводными лигандами обычно получают путем присоединения спейсеров к сахару, а уже затем вводят полученные соединения в р-цию с активированной агарозой.
Красители	Цибакрон голубой F3G-A, просион красный HE 3B, др. неспецифические красители	Эти красители оказались удобными группспецифическими лигандами для нуклеотидсвязывающих ферментов и ряда др. белков. Краситель просион красный HE 3B, например, проявляет большее сродство к NADP-ферментам, чем к NAD-ферментам. См. обзор "Dye Ligand Cromatography" (фирма Amicon Ltd.).
Гидрофобные лиганды	Агароза-$NH(CH_2)_nCH_3$ где $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11$ 	Эффективны в разделении белков на основе гидрофобных взаимодействий. Агарозы с присоединенными диаминоалканами: агароза $NH(CH_2)_nNH_2$ также могут быть использ. как сорбенты для гидрофобной хроматографии.
Другие лиганды	Аминофенилборная кислота. *м-* и *п*-Аминобензамидин, хлорамфеникол, холестерилгемисукцинат, эстрадиолгемисукцинат, холевая кислота, дезоксихолевая кислота, холинфосфат, этаноламинфосфат.	Специфический сорбент для *цис*-диолов, таких, как сахара.

Класс лиганда	Примеры	Примечания
	n-Гидроксимеркуриобензоат.	Образует меркаптиды с тиольными соединениями, включая тиолсодержащие белки.
	Иминодиуксусная кислота, трискарбоксиметилэтилендиамин.	Обладают свойствами образовывать хелатные комплексы с металлами.
	Оксаминовая кислота.	
	Фентиазин.	Специфичен к кальмодулину.
	Винная кислота.	

22. Радиоактивные изотопы

Определения

1 *кюри* (Ки) – радиоактивность (количество) радона, находящегося в радиоактивном равновесии с 1 г радия. Эквивалентно количеству радиоизотопа, в котором за 1 с распадается $3{,}7 \cdot 10^{10}$ ядер (за 1 мин распадается $2{,}22 \cdot 10^{12}$ ядер). Применяются также кратные единицы: 1 мКи (милликюри, 10^{-3} Ки) и 1 мкКи (микрокюри, 10^{-6} Ки). 1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк.

1 *беккерель* (Бк) – единица радиоактивности в СИ. 1 Бк = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Ки. Применяются также кратные единицы:

$$1 \text{ мкКи} = 37000 \text{ Бк} = 37 \text{ кБк}$$

$$1 \text{ мКи} = 37 \cdot 10^{6} \text{ Бк} = 37 \text{ МБк}$$

$$1 \text{ Ки} = 37 \cdot 10^{9} \text{ Бк} = 37 \text{ ГБк}$$

Относительный атомный избыток – разность процентных концентраций изотопа в данном образце (элемента) и в естественной смеси изотопов природного элемента.

Удельная радиоактивность (активность) – радиоактивность единицы массы элемента (вещества).

Изотоп без носителя – теоретически это чистый изотоп данного элемента, т. е. образец элемента, содержащий только один (данный) изотоп.

1 *электронвольт* (Эв; 1 МэВ = 10^{6} эВ) – энергия, приобретаемая электроном при ускорении вдоль градиента потенциала в 1 В. 1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-12}$ эрг.

Слой половинного ослабления – толщина материала, уменьшающая поток радиации вдвое.

1 *рентген* (1 Р) – количество (доза) рентгеновского или γ-излучения в воздухе, при котором сопряженная корпускулярная эмиссия в 0,001293 г сухого воздуха (1 мл при 0°С и 760 мм рт. ст.) приводит к появлению ионов, несущих 1 СГСЕ заряда каждого знака. 1 Р соответствует поглощению $5{,}24 \cdot 10^{13}$ эВ/г воздуха (или 83,8 эрг/г). 3876 Р = 1 Кл/кг (в СИ).

Физический эквивалент рентгена – доза излучения, которая будучи поглощенной 1 г вещества приводит к такой же диссипации (рассеянию) энергии, как при поглощении 1 Р в 1 г сухого воздуха, т. е. 83,8 эрг/г вещества.

Относительная биологическая эффективность (ОБЭ) дозы того или иного вида излучения (называемая также «коэффициентом качества») определяется как отношение степени повреждения тела, которую оно вызывает, к степени повреждения, вызываемой в воде той же дозой рентгеновского излучения со средней удельной ионизацией в 100 пар ионов/мкм.

Рад – единица поглощенной дозы. 1 рад равен поглощенной дозе в 100 эрг/г тела. В СИ единица поглощенной дозы 1 грей (Гр). 1 Гр = Дж/кг. 1 Гр = 100 рад.

Биологический эквивалент рада (бэр) определяется как (доза в бэр) = (доза в рад) · (ОБЭ). В СИ 100 бэр = 1 Дж/кг = 1 сиверт (Св).

Заряд электрона $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Толщина слоя половинного ослабления β-излучения приближенно равна 1/7 максимального пробега β-частиц в этом веществе.

Формулы и соотношения

Поправка на мертвое время

$$N = \frac{N_0}{1-(N_0/t)} \text{ или } N - N_0 = N_0\left\{N_0 t + (N_0 t)^2 + (N_0 t)^3 + \ldots\right\}$$

где N – истинная скорость счета, N_0 – наблюдаемая скорость счета, t – мертвое время счетчика (время, в течение которого счетчик не может регистрировать приходящие сигналы).

Вводя эту поправку, можно получить результат с погрешностью $\sim \frac{1}{2} N_0 (N_0 t)^2$.

Формулы математической статистики

Стандартное отклонение (в процентах) для величины счета составляет $\pm (10^4/N_t)^{1/2}$, где N_t – общее число зарегистрированных импульсов. Например, если зарегистрировано 10^4 импульсов, вероятность ошибки менее чем $\pm$ 1% равна 2 к 1, а ошибки менее $\pm$ 2% – 19 к 1.

Стандартное отклонение (СО) для разности двух величин счета

$$\pm\left\{(\mathrm{CO}_1)^2 + (\mathrm{CO}_2)^2\right\}^{1/2}$$

Следовательно, точное определение фона играет роль только для образцов с относительно низкой радиоактивностью. Наилучшая точность при определении разности скоростей счета N_1 и N_2 двух образцов достигается, если для времен измерения радиоактивности (счета) t_1 и t_2 выполняется соотношение:

$$t_1/t_2 = (N_1/N_2)^{1/2}$$

Радиоавтография

Степень засвечивания эмульсии под действием рентгеновского или электронного облучения подчиняется уравнению $a = A\,(1 - e^{-\varepsilon r})$, где a – число засвеченных (почерневших) зерен, A – общее число зерен на единицу поверхности, r – экспозиция (в рентгенах) или число электронов, ε – коэффициент пропорциональности, зависящий от типа эмульсии.

Как правило, радиоавтограмму удовлетворительного качества можно получить для β-частиц при потоке 10^7/см^2 или для α-частиц – при потоке $2 \cdot 10^6$/см^2.

Определение массы радионуклида по его радиоактивности $W = 3{,}19 \cdot 10^{10}\, N\,(T_{1/2})\, M$
где W – масса (в микрограммах); N – радиоактивность радионуклида (в микрокюри); $T_{1/2}$ – период полураспада (в часах), M – молекулярная масса радионуклида.

Поправка на распад радиоизотопа через время t

$$\lg \frac{N_0}{N_t} = 0{,}3010\,(t/h)$$

$$\text{Остаточная радиоактивность или количество радиоизотопа (в процентах)} = \frac{100}{\text{antilg}\ \{0{,}3010\,(t/h)\}} \text{ или } 100 \cdot e^{-0{,}6931\left(\frac{t}{h}\right)}$$

где t – время распада, h – период полураспада (время, за которое радиоактивность препарата снижается вдвое), N_0 – радиоактивность в нулевой момент времени, N_t – радиоактивность в момент времени t. Через x периодов полураспада останется $2^{-x} \cdot 100\%$ исходной радиоактивности. Таким образом, при $x = 1$ останется 50% радиоизотопа (радиоактивности), $x = 2$ 25%, $x = 3$ 12,5%, $x = 4$ 6,25%, $x = 5$ 3,13%, $x = 6$ 1,56%, $x = 7$ 0,78%, $x = 8$ 0,39%, $x = 9$ 0,2%, $x = 10$ 0,1%.

^{24}Na ($T_{1/2}$ = 14,8 ч)		^{32}P ($T_{1/2}$ = 14,3 сут)		^{35}S ($T_{1/2}$ = 87,1 сут)		^{42}K ($T_{1/2}$ = 12,4 ч)		^{131}I ($T_{1/2}$ = 8,1 сут)		^{3}H ($T_{1/2}$ = 12,3 года)		^{125}I ($T_{1/2}$ = 60 сут)		^{45}Ca ($T_{1/2}$ = 165 сут)		^{51}Cr ($T_{1/2}$ = 28 сут)	
Время, ч	Остаточная радиоактивность, %	Время, сут	Остаточная радиоактивность, %	Время, сут	Остаточная радиоактивность, %	Время, ч	Остаточная радиоактивность, %	Время, сут	Остаточная радиоактивность, %	Время, годы	Остаточная радиоактивность, %	Время, сут	Остаточная радиоактивность, %	Время, сут	Остаточная радиоактивность, %	Время, сут	Остаточная радиоактивность, %
1	95,4	1	95,3	2	98,4	1	94,6	0,2	98,3	1	94,5	4	95,5	10	95,9	2	95,2
2	91,1	2	90,8	5	96,1	2	89,5	0,4	96,6	2	89,3	8	91,2	20	91,9	4	90,6
3	86,9	3	86,5	10	92,3	3	84,5	0,6	95,0	3	84,4	12	87,1	30	88,2	6	86,2
4	82,9	4	82,4	15	88,7	4	80,0	1,0	91,8	4	79,8	16	83,1	40	84,5	8	82,0
5	79,1	5	78,5	20	85,3	5	75,6	1,6	87,2	5	75,4	20	79,4	50	81,1	10	78,1
6	75,5	6	74,8	25	82,0	6	71,5	2,3	81,2	6	71,3	24	75,8	60	77,7	12	74,3
7	72,1	7	71,2	31	78,1	7	67,6	3,1	76,7	7	67,4	28	72,4	70	74,5	14	70,7
8	68,7	8	67,8	37	74,5	8	63,9	4,0	71,0	8	63,7	32	69,1	80	71,5	16	67,3
9	65,6	9	64,7	43	71,0	9	60,5	5,0	65,2	9	60,2	36	66,0	90	68,5	18	64,0
10	62,6	10	61,5	50	67,0	10	57,2	6,1	59,3	10	56,9	40	63,0	100	65,7	20	61,0
11	59,7	11	58,7	57	63,6	11	53,9	7,3	53,4	11	53,8	44	60,2	110	63,0	22	58,0
12	57,0	12	55,9	65	59,6	12	51,2	8,1	50,0	12	50,9	48	57,4	120	60,4	24	55,2
13	54,4	13	53,2	73	56,0	12,4	50,0			12,3	50,0	52	54,8	130	57,9	26	52,5
14	51,9	14	50,7	81	52,5							56	52,4	140	55,5	28	50,0
14,8	50,0	14,3	50,0	87,1	50,0							60	50,0	150	53,3		
														160	51,1		

Некоторые радиоактивные изотопы, используемые в биохимических исследованиях

Элемент (в верхнем индексе массовое число)	Тип распада	$T_{1/2}$	Энергия излучения МэВ		Метод регистрации[a]
			β	γ	
^{3}H	β^-	12,3 года	0,0185		ЖСС
^{11}C	β^+	20,5 мин	0,95		ЖСС
^{14}C	β^-	5760 лет	0,156		ЖСС
^{22}Na	β^+, γ	2,6 года	0,58 (90%)	1,3	ЖСС или NaI (Tl)
^{24}Na	β^-, γ	14,8 ч	1,39	1,38; 2,76	ЖСС или NaI (Tl)
^{28}Mg	β^-	21,4 ч	0,459		ЖСС
^{31}Si	β^-	170 мин	1,8		По Черенкову
^{32}P	β^-	14,3 сут	1,71		ЖСС или по Черенкову
^{35}S	β^-	87,1 сут	0,169		ЖСС
^{36}Cl	β^+, К-захват, β^-	$3{,}1 \cdot 10^5$ лет	0,71		ЖСС
^{38}Cl	β^-, γ	38,5 мин	1,19 (36%) 2,70 (11%) 5,20 (53%)	1,60 (43%) 2,12 (57%)	ЖСС, по Черенкову или NaI (Tl)
^{42}K	β^-, γ	12,4 ч	2,04 (25%) 3,58 (75%)	1,4; 2,1	ЖСС, по Черенкову или NaI (Tl)
^{45}Ca	β^-	165 сут	0,260		ЖСС
^{51}Cr	К-захват, γ	28 сут		0,323; 0,237	ЖСС или NaI (Tl)
^{52}Mn	β^+ (35%) К-захват (65%)	5,8 сут	0,58	1,0; 0,73 0,94; 1,46	ЖСС
^{54}Mn	К-захват, γ	310 сут		0,835	NaI (Tl)
^{55}Fe	Только К-захват	2,94 года			ЖСС
^{57}Co	γ	270 сут		0,136 (10%); 0,122 (88%)	NaI (Tl)
^{58}Co	β^+ (14,5%)	72 сут	0,472	0,805	ЖСС или NaI (Tl)
^{59}Fe	β^-, γ	46,3 сут	0,46 (50%); 0,26 (50%)	1,3 (50%); 1,1 (50%)	ЖСС
^{60}Co	β^-, γ	5,3 года	0,31	1,16; 1,32	ЖСС или NaI (Tl)
^{64}Cu	К-захват (54%), β^- (31%), β^+ (15%), γ + К-захват (1,5%)	12,8 ч	0,57 (β^-); 0,66 (β^+)	1,35 (2,5%)	ЖСС
^{65}Zn	β^+ (1,3%), К-захват (98,7%)	250 сут	0,32	1,14 (46% квантов К-захвата)	ЖСС
^{76}As	β^-, γ	26,8 ч	3,04 (60%); 2,49 (25%); 1,29 (15%)	1,705; 1,20; 0,55	ЖСС или NaI (Tl)
^{75}Se	К-захват, γ	121 сут		0,076 ÷ 0,405	NaI (Tl)
^{82}Br	β^-, γ	36 ч	0,465	0,547; 0,787; 1,35	ЖСС или NaI (Tl)
^{86}Rb	β^-, γ	18,7 сут	1,822 (80%); 0,716 (20%)	1,081	ЖСС, по Черенкову или NaI (Tl)
^{89}Sr	β^-	51 сут	1,46		ЖСС или по Черенкову
^{90}Sr	β^-	28,5 года	0,61		ЖСС
^{99}Mo	β^-, γ	68 ч	1,3	0,75; 0,24	ЖСС или по Черенкову
^{125}Sb	β^-, γ	2,7 года	0,3 (65%) 0,7 (35%)	0,55	ЖСС
^{125}I	γ, ЭЗ	60 сут		0,035	NaI (Tl), ЖСС
^{131}I	β^-, γ	8,1 сут	0,605 (86%); 0,25 (14%)	0,637; 0,363 0,282; 0,08	ЖСС или NaI (Tl)

[a] ЖСС-жидкостной сцинтилляционный счет; NaI (Tl)–сцинтилляционный счетчик с детектором на основе кристалла иодида натрия, активированного таллием; «по Черенкову»–измерения на основе счета вспышек черенковского излучения.

Поглощение β-частиц и γ-лучей

β-*Частицы*

Степень поглощения потока β-частиц зависит от плотности защитного материала, но практически не зависит от его атомной массы.

Энергия β-частиц, МэВ	Удельная масса материала, ослабляющая интенсивность излучения вдвое, мг/см^2	Толщина материала, необходимая для двукратного ослабления интенсивности излучения, мм			
		Вода	Стекло (d 2,5)	Свинец	Органическое стекло (перспекс)
0,1	1,3	0,013	0,005	0,0011	0,0125
1,0	48	0,48	0,192	0,042	0,38
2,0	130	1,3	0,52	0,115	1,1
5,0	400	4,0	1,6	0,35	4,2

γ-*Лучи*

Энергия γ-лучей, МэВ	Толщина материала, необходимая для ослабления широкого пучка γ-лучей в 10 раз, см			
	вода	алюминий	железо	свинец
0,5	54,6	20,3	6,1	1,8
1,0	70	25,4	8,2	3,8
2,0	76	32	11,0	5,9
3,0	89	37	12,0	6,4
4,0	97	40	12,7	6,3
5,0	107	44	13,0	6,1

Измерения методом сцинтилляций в жидкой фазе

Измерение радиоактивности по излучению Черенкова

Излучение Черенкова может быть использовано для регистрации радиоизотопов, испускающих жесткие β-лучи, например ^{32}P. При этом не требуется добавления сцинтиллятора и, следовательно, не происходит химического тушения. Для измерения просто готовят раствор образца, для чего можно использовать широкий набор смесей растворителей, включая органические растворители, хлорную кислоту, воду и т. д., а затем измеряют радиоактивность прямо в сцинтилляционном счетчике. Эффективность счета зависит от энергии β-частиц, так что на практике слабые β-излучатели не могут быть зарегистрированы. Эффективность регистрации радиоизотопов с различными энергиями β-частиц приблизительно характеризуется следующими величинами:

Энергия, МэВ	0,6	1,0	1,5	2	2,5
Эффективность, %	1 ÷ 2	12	19	32	44

Цветовое тушение может сильно искажать результаты счета. В связи с этим окрашенные соединения необходимо удалять или делать поправку на тушение. Для увеличения эффективности счета используются вещества, «смещающие» длину волны излучения, например 4-метилумбеллиферон (100 мг/л), но на их действие могут оказывать сильное влияние примеси (присутствующие в образце) и pH.

Измерение радиоактивности растворов образцов в органических растворителях

Радиоактивные образцы, растворимые в углеводородах, можно прямо вводить в сцинтилляционные смеси, такие, как 1) толуол или ксилол (марки «сцинтилляционный»), содержащий 5 г/л 2,5-дифенилоксазола (PPO) и 0,1 г/л 1,4-ди[2-(5-феноксазолил)]бензола (POPOP), или 2) толуол или ксилол (марки «сцинтилляционный»), содержащий 10 г/л 2-фенил-5-(4-бифенилил)-1, 3,4-оксадиазола (PBD) или 15 г/л 2-(4′-*трет*-бутилфенил)-5-(4″-бифенилил)-1,3,4-оксадиазола (BuPBD).

Для современных сцинтилляционных счетчиков, где используются фотокатоды на двух щелочных металлах, больше подходит вторая смесь. При этом способе сцинтилляционного счета может происходить и химическое, и цветовое тушение.

Измерение радиоактивности водных образцов

а) *Смешивающиеся с водой сцинтилляторы.* Водные образцы могут быть введены непосредственно в сцинтилляционные смеси на основе диоксана, способные поглощать до 30% воды по объему.

1) Сцинтиллятор Брея (1960): нафталин (60 г) + PPO (4 г) + POPOP (0,2 г) + метанол (100 мл) + этиленгликоль (20 мл) + *п*-диоксан (до общего объема смеси 1 л).

2) нафталин (60 г) + BuPBD или PBD (15 г) + *п*-диоксан (добавляют до общего объема смеси 1 л).

Вторая смесь более пригодна для использования в современных сцинтилляционных счетчиках с биметаллическими фотокатодами. Диоксан легко окисляется при хранении, при этом образуются пероксиды, вызывающие сильное тушение. Для удаления пероксидов диоксан пропускают через колонку с молекулярными ситами или кипятят с металлическим натрием. Образование пероксидов при хранении можно предотвратить добавлением антиоксиданта, например ди-*трет*-бутил-4-гидрокситолуола (БГТ). При работе с щелочными водными радиоактивными образцами наблюдается интенсивная хемилюминесценция, искажающая результаты определения радиоактивности.

б) *Эмульсии.* Для измерения радиоактивности водных образцов можно использовать также сцинтилляционные смеси на основе углеводородов с добавлением ПАВ (полиэтоксилатной природы) для получения эмульсии. Например: 600 мл толуола или ксилола (марки «сцинтилляционный») + 340 мл ПАВ (тритон X-100, тритон X-114, стерокс DJ, игепал CA 720, фисцинт) + 5 г PPO + 0,1 г POPOP (последние два могут быть заменены на 15 г BuPBD или 10 г PBD, если измерения проводятся на сцинтилляционных счетчиках с биметаллическими фотокатодами). Недостаток таких систем состоит в том, что в них может происходить расслаивание с образованием двух фаз, что приводит к резкому ухудшению эффективности счета [Anal. Biochem. **74**, 25 (1976)]. Иногда выделение макрофаз не обнаруживается ни визуально, ни путем использования методики внешней стандартизации. По этой причине каждую сцинтилляционную смесь нужно проверять на стабильность скорости счета во времени при выбранной температуре счета, варьируя при этом долю эмульгированного водного образца.

Имеются данные, что модифицированная смесь тритосол [Anal. Biochem. **63**, 555 (1975)] может удерживать до 23% H_2O без выделения макрофаз (без расслаивания), причем для этой смеси выполняется линейная корреляция эффективности счета, полученной экспериментально и вычисленной методом внешней стандартизации, для широкого диапазона добавок тушителей.

Состав смеси тритосол: этиленгликоль (35 мл) + этанол (140 мл) + тритон X-100 (X-114) (250 мл) + ксилол (575 мл) + PPO (3 г) + POPOP (0,2 г).

Коммерчески доступны также многочисленные сцинтилляционные эмульгирующие смеси другого состава. Однако в каждом случае весьма желательно проверять их на постоянство скорости счета и эмульсионную стабильность в конкретных выбранных условиях, например при определенной доле вводимого водного образца и его pH, а также содержания в нем растворенных веществ.

Такие эмульгирующие сцинтилляционные смеси часто можно использовать непосредственно при измерении радиоактивности образцов на твердых подложках или в суспензиях. Так, с ТСХ-пластинок часто можно прямо соскребать носитель в местах локализации пятен радиоактивных соединений и измерять их радиоактивность в сцинтилляционных смесях с добавлением ПАВ и

небольших (< 10% об.) количеств воды. Для измерения радиоактивности пятен на бумажных хроматограммах их можно вырезать и после смачивания сцинтиллятором просто размещать на стенках внутри счетного флакона.

Мягкие ткани и многие другие радиоактивные биологические образцы можно перед измерением радиоактивности перевести в жидкое состояние обработкой четвертичными аммониевыми основаниями, такими, например, как гидроксиды гиамина или (*n*-диизобутилкрезолоксиэтоксиэтил)диметилбензиламмония. Однако при этом в присутствии тканевых белков часто может наблюдаться сильная фосфоресценция. На основе четвертичных аммониевых оснований созданы также различные коммерчески доступные солюбилизаторы, не обладающие этим недостатком. Солюбилизацию образцов необходимо проводить при энергичном встряхивании или ультразвуковой обработке; помогает подогрев до 50°С, но более высокие температуры вызывают дополнительное окрашивание, что в дальнейшем может приводить к усилению тушения.

23. Биохимические методы

1. Методики разделения белков

а) *Использование сульфата аммония*

Ниже указано количество твердого $(NH_4)_2SO_4$, который необходимо добавить, чтобы из раствора с известной первоначальной степенью насыщения получить раствор с желаемой конечной степенью насыщения. Все данные отнесены к насыщенному раствору при 0°C (706,8 г $(NH_4)_2SO_4$ в 1 л H_2O, т. е. 3,90 моль/л). В [Meth. Enzymol. **1**, 76 (1955)] приведены аналогичные данные, но отнесенные к насыщенному при 25°C раствору. Номограммы для нахождения количества $(NH_4)_2SO_4$, которое надо добавить, приведены в [BJ **54**, 457 (1953) (для комнатной температуры, т. е. ~ 22°C)] и [JBC **243**, 2022 (1968) (для 0°C)]. Приводимые ниже данные отличаются от тех, которые вошли во 2-е издание этого справочника, с учетом того, что для получения насыщенного при 0°C раствора к 100 мл H_2O необходимо добавить 70,7 г твердого $(NH_4)_2SO_4$ (а не 69,7 г).

Количество G_x (в г) твердого $(NH_4)_2SO_4$, которое необходимо добавить к 1 л раствора с первоначальной степенью насыщения S_1, чтобы получить раствор с конечной степенью насыщения S_2, определяется по формуле

$$G_x = \frac{G(S_2 - S_1)}{1 - \frac{\bar{v}G}{1000}S_2}$$

где G – масса $(NH_4)_2SO_4$ (в г), содержащегося в 1 л насыщенного раствора, $\bar{v}$ – парциальный удельный объем $(NH_4)_2SO_4$ в насыщенном растворе, а S_1 и S_2 – степени насыщения в долях, например $S_1 = 0{,}5$ и $S_2 = 0{,}7$, $\bar{v}$ и G приведены ниже. В формуле не учитывается изменение парциального удельного объема в зависимости от концентрации $(NH_4)_2SO_4$.

При добавлении насыщенных растворов $(NH_4)_2SO_4$ изменения объемов в результате смешивания незначительны. Объем $V_{нас}$ (в мл) насыщенного раствора $(NH_4)_2SO_4$, который необходимо добавить, чтобы увеличить первоначальную степень насыщения S_1 раствора объемом 1 л до конечной степени насыщения S_2, определяется по следующей формуле:

$$V_{нас} = \frac{100(S_2 - S_1)}{1 - S_2}$$

где S_1 и S_2 – степени насыщения.

Формулы для вычисления необходимых количеств твердого $(NH_4)_2SO_4$ или насыщенного раствора приведены в [JBC **208**, 149 (1954); J. Gen. Physiol. **35**, 423 (1952); The proteins, eds. Neurath and Bailey, 1st ed., vol. 1, part A, p. 55, Academic Press, 1953]. Концентрация $(NH_4)_2SO_4$ выражена в молях на литр [Manometric Techniques, eds. Umbreit et al., 4th ed., p. 158, Burgess (1964)].

Приготовление растворов $(NH_4)_2SO_4$ различной степени насыщения

Степень насыщения раствора при 0 °С, %	Количество (г) твердого $(NH_4)_2SO_4$, которое необходимо добавить на каждые 100 мл исходного раствора																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	10,7	13,6	16,6	19,7	22,9	26,2	29,5	33,1	36,6	40,4	44,2	48,3	52,3	56,7	61,1	65,9	70,7
5	8,0	10,9	13,9	16,8	20,0	23,2	26,6	30,0	33,6	37,3	41,1	45,0	49,1	53,3	57,8	62,4	67,1
10	5,4	8,2	11,1	14,1	17,1	20,3	23,6	27,0	30,5	34,2	37,9	41,8	45,8	50,0	54,4	58,9	63,6
15	2,6	5,5	8,3	11,3	14,3	17,4	20,7	24,0	27,5	31,0	34,8	38,6	42,6	46,6	51,0	55,5	60,0
20	0	2,7	5,6	8,4	11,5	14,5	17,7	21,0	24,4	28,0	31,6	35,4	39,2	43,3	47,6	51,9	56,5
25		0	2,7	5,7	8,5	11,7	14,8	18,2	21,4	24,8	28,4	32,1	36,0	40,1	44,2	48,5	52,9
30			0	2,8	5,7	8,7	11,9	15,0	18,4	21,7	25,3	28,9	32,8	36,7	40,8	45,1	49,5
35				0	2,8	5,8	8,8	12,0	15,3	18,7	22,1	25,8	29,5	33,4	37,4	41,6	45,9
40					0	2,9	5,9	9,0	12,2	15,5	19,0	22,5	26,2	30,0	34,0	38,1	42,4
45						0	2,9	6,0	9,1	12,5	15,8	19,3	22,9	26,7	30,6	34,7	38,8
50							0	3,0	6,1	9,3	12,7	16,1	19,7	23,3	27,2	31,2	35,3
55								0	3,0	6,2	9,4	12,9	16,3	20,0	23,8	27,7	31,7
60									0	3,1	6,3	9,6	13,1	16,6	20,4	24,2	28,3
65										0	3,1	6,4	9,8	13,4	17,0	20,8	24,7
70											0	3,2	6,6	10,0	13,6	17,3	21,2
75												0	3,2	6,7	10,2	13,9	17,6
80													0	3,3	6,8	10,4	14,1
85														0	3,4	6,9	10,6
90															0	3,4	7,1
95																0	3,5
100																	0

Насыщенные растворы сульфата аммония при различных температурах

Концентрация $(NH_4)_2SO_4$ в насыщенном растворе и другие данные	Температура, °С				
	0	10	20	25	30
Моляльная, моль/1000 г H_2O	5,35	5,53	5,73	5,82	5,91
Процентная, %	41,42	42,22	43,09	43,47	43,85
Массовая, г/1000 мл H_2O	706,8	730,5	755,8	766,8	777,5
Массовая, г/л раствора	514,7	525,1	536,1	541,2	545,9
Молярная, моль/л	3,90	3,97	4,06	4,10	4,13
Плотность, г/см^3	1,2428	1,2436	1,2447	1,2450	1,2449
Кажущийся удельный объем $\bar{v}$	0,5281	0,5357	0,5414	0,5435	0,5458

б) *Приготовление алюмогеля* C_γ

Willstätter, Kraut, Ber. **56**, 1117 (1923); см. также Meth. Enzymol. **1**, 97 (1955); **2**, 823 (1957); **6**, 169 (1963).

В 6,5 л воды растворяют 300 г $(NH_4)_2SO_4$, нагревают до 60°С и добавляют 420 мл 20%-ного (об./об.) NH_3 (77,5 г NH_3, что соответствует небольшому избытку, который необходим для поддержания слабощелочной реакции раствора при добавлении $Al_2(SO_4)_3$). Готовят горячий раствор (температура $\geqslant 60$°С) 500 г $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ в 1 л воды и при интенсивном перемешивании быстро добавляют его в приготовленный аммиачный раствор $(NH_4)_2SO_4$. Перемешивание продолжают еще 15 мин, причем по-прежнему поддерживают температуру $\geqslant 60$°С. Когда первоначально выпавший очень объемистый осадок начинает оседать в виде хлопьев, смесь разбавляют водой до 40 л. После полного оседания осадка супернатант удаляют путем декантации (или путем фильтрования с отсасыванием). Гель три раза промывают водой, а далее, начиная с четвертой порции, в воду для промывания добавляют 80 мл 20%-ного NH_3, чтобы захваченный осадком $Al_2(SO_4)_3$ полностью перевести в гидроксид алюминия. Промывные воды с 12-й по 20-ю порции опалесцируют. В заключение проводят еще две промывки. Промывка геля занимает обычно два дня.

Гель не должен содержать сульфата; контроль осуществляют путем добавления к промывным водам $HCl + BaCl_2$. Обычно подготовленный таким образом гель оставляют на 3 мес; за это время происходит переход из C_α-формы в C_γ. Такой алюмогель готов к применению.

в) *Приготовление гидроксиапатита*

Методики приготовления гидроксиапатита (или гидроксилапатита) и свойства различных препаратов изучены Спенсером и др. [J. Chromatogr. **166**, 423, 435, 447 (1978)].

1) *Методика Тизелиуса и др.* [ABB **65**, 132 (1956)], модифицированная Левиным [Meth. Enzymol. **5**, 28 (1962)]. Крупномасштабная методика описана в [Biochem. Preps. **9**, 83 (1962)].

В стакан емкостью 5 л одновременно с одинаковой скоростью (12–15 мл/мин) при постоянном перемешивании вливают 2 л 0,5 М $CaCl_2$ и 2 л 0,5 М Na_2HPO_4. Образовавшемуся осадку дают отстояться и супернатант отделяют путем фильтрования с отсасыванием на водоструйном насосе. К осадку добавляют 3 л воды, перемешивают, дают отстояться, жидкость отделяют тем же способом; такие операции промывки повторяют 4 раза. В заключение осадок суспендируют в 3 л дистиллированной воды и при встряхивании добавляют 100 мл свежеприготовленного 40%-ного (масс./об.) NaOH. Смесь нагревают до кипения в течение 45 мин и осторожно кипятят еще 1 ч при постоянном медленном перемешивании. Реакционную смесь оставляют на 5 мин, давая осесть осадку, который затем от очень мутного супернатанта отделяют фильтрованием с отсасыванием. Как и ранее, осадок промывают четыре раза 3 л воды, каждый раз давая осадку осесть в течение 5 мин. К осадку добавляют 4 л 0,01 М буферного раствора с pH 6,8 (фосфат натрия) и суспензию нагревают почти до кипения при постоянном перемешивании. Дают осадку осесть в течение 5 мин и затем супернатант отделяют путем фильтрования с отсасыванием. Эту процедуру повторяют дважды с 0,01 М и дважды с 0,001 М натрийфосфатным буфером (pH 6,8),

но каждый раз смесь кипятят в течение 15 мин. В конце концов готовят суспензию в 0,001 М буфере; она устойчива по крайней мере в течение года. Медленное перемешивание и осторожное кипячение необходимы для того, чтобы получить достаточно крупнозернистый продукт, что обеспечивает высокие скорости протекания колонок.

2) *Методика Спенсера* [J. Chromatogr. **166**, 435 (1978)]. С некоторыми изменениями эта методика может привести к получению препаратов, обладающих либо более высокой скоростью протекания, либо лучшей разрешающей способностью.

Для приготовления брушита к 2,4 л 0,5 М натрийфосфатного буфера (pH 6,7) добавляют 2,0 л 0,5 М $CaCl_2$ со скоростью 50 мл/мин. Для работы необходим сосуд емкостью 9 л, снабженный циркуляционным насосом, отрегулированным таким образом, чтобы скорость циркуляции составляла ~ 4 л/мин. Раствор $CaCl_2$ подается непосредственно на выход сопла циркуляционного насоса. (Перед использованием аппарат следует быстро промыть 0,1 М HCl, чтобы удалить кристаллики брушита, которые могут вызвать преждевременное выпадение осадка препарата. Этот фактор, а также скорость циркуляции смеси сильно влияют на размер кристалликов брушита и в конечном итоге такую его характеристику, как скорость протекания.) После введения всего объема раствора $CaCl_2$ образовавшимся кристаллам дают осесть (осадок занимает объем ~ 700 мл), а затем осадок промывают в 5 л дистиллированной H_2O для удаления растворимых солей.

Чтобы перевести брушит в гидроксиапатит, суспензию после удаления супернатанта переносят в стакан емкостью 5 л с хорошо отполированными стенками. Быстро добавляют кипящую дистиллированную воду (2,5 л) при перемешивании смеси лопастной мешалкой (50 × 100 мм) со скоростью 200 об/мин. После добавления температура смеси должна быть 70 ÷ 75°C и pH 5,0 ÷ 5,5. Мешалку останавливают, дают осадку осесть и немедленно удаляют супернатант путем фильтрования с отсасыванием. Добавляют 5,0 мл 1 М HCl. Еще раз, как и ранее, добавляют 2,5 л кипящей воды, а затем с помощью трубки, достигающей дна стакана, добавляют ~ 72 мл 20%-ного NaOH. Все время контролируют pH, используя высокотемпературные электроды и, добавляя щелочь, добиваются установления pH 7,0 ± 0,2 через 0,5 мин, в течение которых может наблюдаться первоначальное понижение pH до 5,5 ÷ 6,0. Типичный график добавления раствора NaOH: 0 ÷ 0,5 мин 35 мл/мин; 0,5 ÷ 1,0 мин 50 мл/мин; 1,0 ÷ 2,0 мин 30 мл/мин. За это время температура смеси становится ниже на ~ 6°C первоначального значения 85–90°C. Подачу раствора NaOH прекращают, когда окончательно установится pH 7,2. После оседания осадка и удаления супернатанта осадок дважды промывают 2,5 л кипящей воды. После второго добавления воды стакан прикрывают сверху и без удаления супернатанта переносят в изолированное помещение, где он медленно охлаждается в течение ночи; первоначальная скорость охлаждения должна быть ~ 0,3°C/мин. Объем осевшего осадка гидроксиапатита ~ 750 мл.

2. Методы определения белка

Опубликованы обзоры по методикам определения концентрации белка [*Thorne C. J. R.*, in: Techniques in Protein and Enzyme Biochemistry, Part 1, Section B104, Elsevier-North Holland (1978); *Layne E.*, Meth. Enzymol. **3**, 447 (1957)].

а) *Поглощение при 260 нм и 280 нм.*

Методика Варбурга и Кристиана [BZ **310**, 384 (1941)].

Методика. В 1-см кювете измеряют поглощение A (экстинкцию, оптическую плотность) разбавленного соответствующим образом раствора белка при 260 и 280 нм.

Вычисление концентрации белка. 1) Вычисляют отношение A_{280}/A_{260}. С помощью таблицы (или с помощью графика, построенного по приведенным в таблице данным) находят множитель f, соответствующий данному отношению A_{280}/A_{260}.

$$\text{Концентрация белка (мг/мл)} = A_{280} \cdot f$$

2) Для вычисления концентрации белка можно также использовать формулу:

$$\text{Концентрация белка (мг/мл)} = 1{,}55A_{280} - 0{,}76A_{260}$$

Замечание. Приведенные в таблице значения, а также формулы для расчета были получены путем измерения поглощения кристаллической дрожжевой енолазы (при концентрации 1 мг/мл $A_{260} = 0{,}512$, $A_{280} = 0{,}894$) и очищенной дрожжевой нуклеиновой кислоты (при 1 мг/мл $A_{260} = 22{,}1$, $A_{280} = 10{,}8$). Методика дает хорошие результаты в случае смесей белков и нуклеиновых кислот, имеющих указанные величины поглощения.

Величины поглощения для многих белков были сведены в таблицы в книге [Handbook of biochemistry and molecular biology, ed. G. D. Fasman, vol. II, p. 383, 3rd ed., CRC Press (1976)], а также в работах [Anal. Biochem. **68**, 464 (1975); **80**, 193 (1977); **81**, 220 (1977); **82**, 83 (1977); **87**, 223 (1978); **90**, 309 (1978); Int. J. Pept. Protein Res. **13**, 479 (1979; Int. J. Biochem. **11**, 487 (1980); **13**, 621 (1981)]. Значения A_{280} для большинства белков при концентрации 1 мг/мл находятся в диапазоне $0{,}5 \div 2{,}0$ (известно также довольно много белков, для которых A_{280} не попадает в указанный диапазон).

Множители *f* для вычисления концентрации белка

A_{280}/A_{260}	Содержание нуклеиновой кислоты[a], %	Множитель *f*	A_{280}/A_{260}	Содержание нуклеиновой кислоты[a], %	Множитель *f*
1,75	0	1,118	0,86	5,2	0,671
1,60	0,30	1,078	0,84	5,6	0,650
1,50	0,56	1,047	0,82	6,1	0,628
1,40	0,87	1,011	0,80	6,6	0,605
1,3	1,26	0,969	0,78	7,1	0,581
1,25	1,49	0,946	0,76	7,8	0,555
1,20	1,75	0,921	0,74	8,5	0,528
1,15	2,05	0,893	0,72	9,3	0,500
1,10	2,4	0,863	0,70	10,3	0,470
1,05	2,8	0,831	0,68	11,4	0,438
1,00	3,3	0,794	0,66	12,8	0,404
0,96	3,7	0,763	0,64	14,5	0,368
0,92	4,3	0,728	0,62	16,6	0,330
0,90	4,6	0,710	0,60	19,2	0,289
0,88	4,9	0,691			

[a] Содержание нуклеиновой кислоты относительно общей концентрации белка (белок + нуклеиновая кислота).

б) *Биуретовый метод*

Методика Горналла, Бардавилла и Дэвида [JBC **177**, 751 (1949)].

Реагент. В 500 мл воды растворяют 1,5 г $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и 6 г смешанного тартрата натрия-калия (соль Роше $NaKC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$). При интенсивном перемешивании добавляют 300 мл 10%-ного (масс./об.) едкого натра (свободного от карбонатов). Для предотвращения образования осадка оксида меди (I) можно добавить также иодид калия (1 г). Объем смеси доводят водой до 1 л; смесь хранят в пластиковой бутылке.

Методика. Смешивают 4,0 мл биуретового реагента и 1,0 мл раствора белка (разбавленного в случае необходимости), содержащего $1 \div 10$ мг белка; выдерживают смесь при комнатной температуре в течение 30 мин. Определяют поглощение при длине волны между 540 и 560 нм.

Концентрацию белка определяют с помощью градуировочного графика (обычно в виде линейной зависимости), построенного с использованием подходящего стандартного белка

(1 ÷ 10 мг). Для различных белков получены немного различающиеся значения поглощения (не более чем в 2 раза), однако ошибка определения при работе по этой методике меньше, чем по другим.

Мешающие соединения. Пептиды, трис, сахароза и желчные пигменты дают окраску в биуретовой реакции; соли аммония, трис, сахароза и глицерин оказывают влияние на окраску, даваемую белками. Липиды и детергенты могут вызывать помутнение.

в) *Метод Лоури–Фолина*

Методика Лоури, Розенброу, Фарра и Рандалла [JBC 193, 265 (1951); см. также Anal. Biochem. **100**, 201 (1979)].

Реагент. Раствор А. 2%-ный Na_2CO_3 в 0,1 М NaOH.

Раствор Б. 0,5%-ный $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ в 1%-ном тартрате натрия (или калия) или тринатрийцитрате.

Раствор В. Смешивают 50 мл раствора А с 1 мл раствора Б. Ежедневно готовят заново.

Раствор Г. Коммерческий реагент Фолина–Чокальтеу (хранить в холодильнике), разбавленный водой до концентрации по кислоте 1 моль/л (обычно требуется ~ 2-кратное разбавление).

Методика. Используют образец, содержащий 25 ÷ 500 мкг белка в 1 мл. Добавляют 5,0 мл раствора В, хорошо перемешивают и выдерживают в течение 10 мин или более при комнатной температуре. Быстро при постоянном перемешивании добавляют 0,5 мл раствора Г. Выдерживают 30 мин, а затем определяют поглощение при 750 нм (в случае низких концентраций белка) или 500 нм (в случае высоких концентраций белка). Можно использовать дольные или кратные количества указанных реагентов.

Концентрацию белка определяют по градуировочному графику (обычно с небольшими отклонениями от линейной зависимости), построенному с помощью подходящего стандартного белка. Разные белки дают заметно различающиеся величины поглощения в методе Лоури–Фолина, отчасти это зависит от содержания тирозина и триптофана.

Мешающие соединения. Многие широко используемые биохимические реагенты мешают количественному определению белка, усиливая фон или нивелируя окраску с белком. К их числу относятся тирозин, триптофан и фенольные соединения, буферы (например, трис, хепес, глицин, гистидин, цитрат), сахара (например, сахароза, глюкоза, глицерин), вещества, применяемые для создания градиента (фиколл, метризамид, поливинилпирролидон), тиольные соединения, восстановители, ЭДТА, $(NH_4)_2SO_4$, тритон X-100. Более подробно об этом можно узнать в работах [Anal. Biochem. **70**, 241 (1976); **100**, 201 (1979); *Thorne C. J. R.* in: Techniques in Protein and Enzyme Biochemistry, Part I, Section B 104, Elsevier–North Holland, 1978].

г) *Метод связывания красителей*

Методика Брэдфорда [Anal. Biochem. **72**, 248 1976; см. также Anal. Biochem. **86**, 142 (1978)].

Реагент. Кумасси бриллиантовый синий G-250 (100 мг) растворяют в 50 мл 95%-ного EtOH. Добавляют 100 мл 85%-ной (масс./об.) фосфорной кислоты. Разбавляют водой до 1 л.

Методика. Используют образец (разбавленный в случае необходимости), содержащий 10 ÷ 100 мкг белка в 0,1 мл. Добавляют 5,0 мл реагента-красителя и хорошо перемешивают. Не ранее, чем через 5 мин, и не позднее, чем через 1 ч, измеряют поглощение при 595 нм–относительно чистого реагента.

Для микроанализа используют образец, содержащий 1–10 мкг белка в 0,1 мл, добавляют 1,0 мл раствора красителя, смешивают и определяют поглощение при 595 нм, как описано выше.

Концентрацию белка находят по градуировочному графику (могут быть небольшие отклонения от линейности), построенному с помощью подходящего белка (см. ниже). Различные белки обладают различными способностями связывать красители; это может искажать результаты

анализа. В частности, бычий сывороточный альбумин характеризуется высоким значением A_{595} и поэтому не может быть использован в качестве общего стандартного белка в этой методике.

Мешающие соединения. Сильнощелочные буферы и детергенты, такие, как ДСН и тритон X-100, снижают интенсивность окраски.

3. Методы количественного определения нуклеиновых кислот

а) *Определение РНК. Орциновый метод*

Реагенты. Раствор А. 1%-ный орцин в воде. Такой раствор можно хранить несколько недель в холодильнике.

Раствор Б. Концентрированная соляная кислота.

Раствор В. 10%-ный раствор $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ в воде. Для получения прозрачного раствора, возможно, понадобится добавить несколько капель HCl.

Методика. Непосредственно перед использованием смешивают 10 мл раствора А, 40 мл раствора Б и 1 мл раствора В. Добавляют 3,0 мл полученного раствора к 0,5 мл РНК-содержащего раствора и нагревают в кипящей водяной бане (для предотвращения упаривания пробирку закрывают стеклянным шариком) в течение 25 мин. Раствор охлаждают и определяют поглощение при 660 нм относительно чистого реагента.

Замечания. Рабочий диапазон этой методики $0 \div 200$ мкг РНК. В качестве стандарта можно использовать любую чистую РНК. В твердом виде РНК всегда содержит неопределенное количество воды, и, как правило, необходимо определять концентрацию стандарта путем измерения его поглощения при 260 нм. Раствор, содержащий 1 мг РНК/мл, характеризуется $A_{260} = 24{,}0$.

б) *Количественное определение ДНК. Дифениламиновый метод*

Метод Бартона [BJ **62**, 315 (1956); Meth. Enzymol. **12B**, 163 (1968)].

Дифениламиновый реагент. 1,5%-ный (масс./об.) раствор дифениламина в перегнанной ледяной уксусной кислоте, на каждые 100 мл которого добавлено 1,5 мл конц. H_2SO_4. На каждые 20 мл реагента добавляют 0,1 мл водного раствора ацетальдегида (16 мг/мл). (Чтобы реагент оставался бесцветным, очень важно использовать перегнанную ледяную уксусную кислоту.)

Методика. К образцу ДНК добавляют $HClO_4$ до конечной концентрации 0,5 моль/л. Добавляют два объема дифениламинового реагента к одному объему образца, содержащего $10 \div 100$ мкг ДНК/мл 0,5 М раствора $HClO_4$. Одновременно аналогичные процедуры проводят со стандартами ДНК и чистым реагентом. Инкубируют $16 \div 20$ ч при 30°C и измеряют поглощение при 600 нм.

Замечания. В качестве стандарта может быть использована любая чистая ДНК. В твердом виде ДНК всегда содержит неопределенное количество воды, и необходимо определять концентрацию стандартной ДНК путем измерения ее поглощения при 260 нм. Раствор, содержащий 1 мг ДНК/мл, характеризуется $A_{260} = 20{,}0$.

Эта методика особенно полезна для количественного определения ДНК, экстрагированной из тканей разбавленной $HClO_4$ ($0{,}25 \div 0{,}65$ М). Трихлороуксусная кислота вплоть до концентрации 10% не влияет на результаты анализа. Многократный избыток РНК, по-видимому, не влияет на цветную реакцию.

4. Растворы для создания градиента плотности

а) *Сахароза* (*M* 342,30)

Концентрация раствора сахарозы			Плотность, г/мл		Показатель преломления n_D^a (20°C)	Вязкость × 10^2, Пз	
%	г/л раствора (20°C)	моль/л	0°C	20°C		0°C	20°C
0	–	–	1,000	0,998	1,3330	1,78	1,00
1	10,02	0,029	1,004	1,002	1,3344	1,83	1,03
2	20,12	0,059	1,008	1,006	1,3359	1,88	1,06
4	40,55	0,119	1,016	1,014	1,3388	2,00	1,12
6	61,31	0,179	1,024	1,022	1,3418	2,13	1,18
8	82,40	0,241	1,033	1,030	1,3448	2,29	1,25
10	103,81	0,303	1,041	1,038	1,3478	2,46	1,34
12	125,6	0,367	1,050	1,046	1,3509	2,65	1,43
14	147,7	0,431	1,058	1,055	1,3541	2,88	1,53
16	170,2	0,497	1,067	1,063	1,3573	3,13	1,65
18	193,0	0,564	1,076	1,072	1,3605	3,43	1,79
20	216,2	0,632	1,085	1,081	1,3638	3,81	1,96
22	239,8	0,701	1,094	1,090	1,3672	4,21	2,14
24	263,8	0,771	1,104	1,099	1,3706	4,69	2,35
26	288,1	0,842	1,113	1,108	1,3740	5,26	2,59
28	312,9	0,914	1,123	1,118	1,3775	5,93	2,87
30	338,1	0,988	1,133	1,127	1,3811	6,74	3,21
32	363,7	1,063	1,143	1,137	1,3847	7,70	3,61
34	389,8	1,139	1,153	1,146	1,3883	8,90	4,08
36	416,2	1,216	1,163	1,156	1,3920	10,38	4,65
38	443,2	1,295	1,173	1,166	1,3958	12,25	5,35
40	470,6	1,375	1,184	1,176	1,3997	14,65	6,21
42	498,4	1,456	1,194	1,187	1,4036	17,8	7,28
44	526,8	1,539	1,205	1,197	1,4076	21,9	8,64
46	555,6	1,623	1,216	1,208	1,4117	27,4	10,37
48	584,9	1,709	1,227	1,219	1,4158	34,8	12,60
50	614,8	1,796	1,238	1,230	1,4200	45,1	15,54
52	645,1	1,885	1,249	1,241	1,4242	59,5	19,5
54	676,0	1,975	1,261	1,252	1,4285	80,5	24,9
56	707,4	2,067	1,272	1,263	1,4329	112	32,4
58	739,4	2,160	1,284	1,275	1,4373	160	43,1
60	771,9	2,255	1,296	1,286	1,4418	237	58,9
62	804,9	2,351	1,308	1,298	1,4464	367	83,0
64	838,6	2,450	1,320	1,310	1,4509	596	121
66	872,8	2,550	1,332	1,322	1,4555	1020	183

[a] Показатель преломления для D-линии натрия, т.е. 589 нм.

Дополнительные сведения приведены в [Prog. Biophys. Chem. **9**, 357 (1959); International Critical Tables, vol. 2, p. 343, 1927; *Bates F. J.* Polarimetry, Saccharimetry and the Sugars, Circular 440, National Bureau of Standards, Whashington, D.C., 1942].

Плотность раствора сахарозы при любой (0–30°C) температуре может быть вычислена с помощью уравнения Барбера [Natl. Cancer Inst. Monograph. **21**, 219 (1966); в этой же работе приводятся также уравнения, позволяющие вычислять плотность при более высоких температурах и вязкость].

$$\rho_T = (B_1 + B_2 T + B_3 T^2) + (B_4 + B_5 T + B_6 T^2) Y + (B_7 + B_8 T + B_9 T^2) Y^2$$

где ρ_T – плотность раствора сахарозы; T – температура (°C); Y – массовая доля сахарозы в растворе; B_{1-9} – константы, имеющие следующие значения:

$B_1 = 1{,}00037$; $B_2 = 3{,}96805 \cdot 10^{-5}$; $B_3 = -5{,}85133 \cdot 10^{-6}$;
$B_4 = 0{,}389824$; $B_5 = -1{,}05789 \cdot 10^{-3}$; $B_6 = 1{,}23928 \cdot 10^{-5}$;
$B_7 = 0{,}170976$; $B_8 = 4{,}75301 \cdot 10^{-4}$; $B_9 = -8{,}92397 \cdot 10^{-6}$.

б) *Хлорид цезия* (M 168,37)

Концентрация раствора CsCl			Плотность, г/мл		Показатель преломления n_D (25°C)
%	г/л раствора (25°C)	моль/л	0°C	25°C	
0	–	–	1,000	0,997	1,3326
1	10,25	0,056	1,008	1,005	1,3333
2	20,25	0,119	1,016	1,013	1,3340
3	30,61	0,182		1,020	1,3348
4	41,14	0,244	1,032	1,028	1,3356
5	51,83	0,308		1,037	1,3364
6	62,68	0,373	1,049	1,045	1,3372
7	73,72	0,438		1,053	1,3380
8	84,92	0,504	1,066	1,062	1,3388
9	96,30	0,572		1,070	1,3397
10	107,88	0,641	1,084	1,079	1,3405
11	119,6	0,710		1,088	1,3414
12	131,6	0,782	1,102	1,097	1,3423
13	143,8	0,854		1,106	1,3431
14	156,1	0,927	1,121	1,115	1,3441
15	168,7	1,002		1,124	1,3450
16	181,4	1,077	1,140	1,134	1,3459
17	194,4	1,155		1,144	1,3469
18	207,6	1,233	1,160	1,154	1,3478
19	221,1	1,313		1,164	1,3488
20	234,8	1,395	1,181	1,174	1,3498
21	248,7	1,477		1,184	1,3508
22	262,9	1,561	1,203	1,195	1,3518
23	277,3	1,647		1,205	1,3529
24	291,9	1,734	1,225	1,216	1,3539
25	306,9	1,823		1,227	1,3550
26	322,1	1,913	1,247	1,239	1,3561
27	337,6	2,005		1,250	1,3572
28	353,3	2,098	1,271	1,262	1,3584
29	369,4	2,194		1,274	1,3595
30	385,7	2,291	1,296	1,286	1,3607
31	402,4	2,390		1,298	1,3619
32	419,5	2,492		1,311	1,3632
33	436,9	2,595		1,323	1,3644
34	454,2	2,698		1,336	1,3657
35	472,4	2,806	1,361	1,350	1,3670
36	490,7	2,914		1,363	1,3683
37	509,5	3,026		1,377	1,3696
38	528,6	3,140		1,391	1,3709
39	548,3	3,257		1,405	1,3722
40	567,8	3,372	1,432	1,420	1,3736

Концентрация раствора CsCl			Плотность, г/мл		Показатель преломления n_D (25°C)
%	г/л раствора (25°C)	моль/л	0°C	25°C	
41	588,4	3,495		1,434	1,3749
42	609,0	3,617		1,450	1,3763
43	630,0	3,742		1,465	1,3777
44	651,6	3,870		1,481	1,3792
45	673,6	4,001	1,511	1,497	1,3807
46	696,0	4,134		1,513	1,3822
47	718,6	4,268		1,530	1,3837
48	742,1	4,408		1,547	1,3853
49	766,4	4,552		1,565	1,3869
50	791,3	4,700	1,598	1,582	1,3886
51	816,5	4,849		1,601	1,3902
52	841,9	5,000		1,619	1,3920
53	868,1	5,156		1,638	1,3937
54	895,3	5,317		1,658	1,3955
55	922,8	5,481	1,695	1,678	1,3973
56	951,4	5,651		1,698	1,3992
57	980,4	5,823		1,719	1,4011
58	1009,8	5,998		1,740	1,4031
59	1040,2	6,178		1,762	1,4051
60	1070,8	6,360	1,804	1,785	1,4072
61	1102,9	6,550		1,808	1,4093
62	1135,8	6,746		1,831	1,4115
63	1167,3	6,945		1,855	1,4137
64	1203,2	7,146		1,880	1,4160
65	1238,4	7,355		1,905	1,4183

Дополнительные данные приведены в [International Critical Tables, vol. 3, p. 94 (1927); BBA **108**, 18 (1965) (данные о вязкости); Biopolymers **9**, 597 (1970)].

Концентрацию (30–60%) раствора CsCl, соответствующую плотности 1,29 ÷ 1,80 (при 25°C), можно вычислить по формуле:

$$\% \text{ CsCl} = 137{,}48 - 138{,}11(1/\rho_{25})$$

где ρ_{25} – заданная плотность (25°C).

Плотность ρ_{25} и показатель преломления для D-линии натрия n_D^{25} растворов CsCl связаны следующими формулами:

$$\rho_{25} = 10{,}2402\, n_D^{25} - 12{,}6483 \qquad \text{(для } \rho_{25} < 1{,}37\text{)}$$

$$\rho_{25} = 10{,}8601\, n_D^{25} - 13{,}4974 \qquad \text{(для } \rho_{25} = 1{,}25 \div 1{,}90\text{)}$$

$$\rho_{25} = 1{,}1584 - 10{,}2219\, n_D^{25} + 7{,}5806(n_D^{25})^2 \qquad \text{(для } \rho_{25} = 1{,}00 \div 1{,}90\text{)}$$

в) *Другие соли*

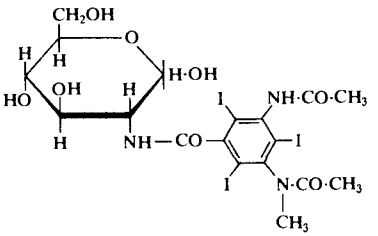
Формулы, устанавливающие связь между плотностью и показателем преломления или концентрацией различных солевых растворов, приведены в [Fortschr. Chem. Org. Naturst. **20**, 372 (1962); Biopolymers **9**, 597 (1970)]. Ниже приведены такие формулы для ряда солей, применяемых для создания градиентов плотности. Данные о плотности для этих и других солей приведены в [International Critical Tables, vol. 3, pp. 51–95 (1928)].

Соль	Формула для вычисления плотности (25°C)[a]	Диапазон применимости формулы (диапазон плотности)
Cs_2SO_4	$12{,}1200n_D^{25} - 15{,}1662$	1,15 ÷ 1,40
	$13{,}6986n_D^{25} - 17{,}3233$	1,40 ÷ 1,70
	$1{,}0047 + 0{,}28369m - 0{,}017428m^2$	1,14 ÷ 1,80
	$0{,}9945 + 11{,}1066(n_D^{25} - n_0) - 26{,}4460(n_D^{25} - n_0)^2$	1,14 ÷ 1,80
CsBr	$9{,}9667n_D^{25} - 12{,}2876$	1,25 ÷ 1,35
	$2{,}7798 - 12{,}2102n_D^{25} + 8{,}1615(n_D^{25})^2$	1,05 ÷ 1,50
CsI	$8{,}8757n_D^{25} - 10{,}8381$	1,20 ÷ 1,55
	$4{,}5245 - 13{,}5833n_D^{25} + 8{,}2067(n_D^{25})^2$	1,05 ÷ 1,55
NaCl	$4{,}23061n_D^{25} - 4{,}64125$	1,00 ÷ 1,19
KBr	$6{,}4786n_D^{25} - 7{,}6431$	1,10 ÷ 1,35
RbCl	$21{,}7661 - 39{,}2834n_D^{25} + 17{,}7843(n_D^{25})^2$	1,05 ÷ 1,35

[a] n_D^{25} – показатель преломления для D-линии натрия при 25°C; n_0 – показатель преломления воды при 25°C; m – моляльность (моль/1000 г раствора).

г) *Вещества для создания градиентов в особых случаях*

Метризамид (Nyegaard & Co., Норвегия) – 2-(3-ацетамидо-5-N-метилацетамидо-2,4,6-трииодобензамидо)-2-дезокси-D-глюкоза: *M* 789. Неионное соединение. Бел. порошок. Раств-сть: х. р. H_2O, р. разб. водн. кисл., р. 75%-ный EtOH. Сильно поглощает в УФ-свете: λ_{max} 242 нм. Раств. неограниченно долго уст. в темноте при –20°C, уст. в темноте при комн. т. и pH 3 ÷ 8. Освещение и повышенные температуры (> 55°C) вызывают разложение с освобождением I_2.



Макс. плотность водного раств. ρ_{max} 1,46. Вязкость ниже, чем у раств. сахарозы той же плотности, но быстро возрастает при $\rho > 1{,}30$. См. обзор [FEBS Lett. **50**, 102 (1975)].

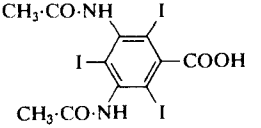
Концентрация, % (масс./об.)	10	20	30	40	50	60	70	80
ρ (20 °C)	1,025	1,106	1,160	1,214	1,268	1,322	1,376	1,430

При 20 °C $\rho = 3{,}350n_D^{20} - 3{,}462$
При 5 °C $\rho = 3{,}453n_D^{20} - 3{,}601$

где ρ – плотность, а n_D^{20} – показатель преломления для D-линии натрия (20°C).

Урограффин (Schering Chemicals, Берлин). Смешивают Na-соль диатризоевой (метризоевой) кислоты и 1-дезокси-1-(метиламино)-D-глюцитовую (метилглюкаминовую) соль этой же кислоты.

M свободной кислоты 614. Сильное поглощение в УФ-свете. Хранить в темноте, свет вызывает выделение I_2. Макс. плотность водн. раств. ρ_{max} 1,45. Низкая вязкость, значительно ниже, чем у растворов сахарозы той же плотности.



Фиколл 400 (Pharmacia) – высокоразветвленный сополимер сахарозы и эпихлорогидрина: $M_{ср}$ 400 000. Отсутствуют группы, способные ионизоваться. Растворим в H_2O до концентрации 50%

(масс./об.). Уст. в щел. и нейтр. раств. Гидрол. при pH < 3, особ. при повышенных темп. Можно стерилизовать автоклавированием в нейтр. раств. при 110°C в течение 30 мин, разложения при этом не наблюдается. Способен разл. под действием сильных окисл. и восстановителей. Макс. плотность водн. раств. ρ_{max} 1,23. Осмотическое давление раств. фиколла очень низкое по сравнению с осмотическим давлением раств. сахарозы той же плотности, но вязкость раств. фиколла гораздо выше.

Концентрация, % (масс./об.)	10	20	30	40	50
ρ (20 °C)	1,033	1,068	1,103	1,138	1,171
Вязкость $\eta_{отн}$ (20 °C)	5	20	60	180	600

Таблицы плотности и вязкости растворов фиколла при 4, 15 и 25°C приведены в [Anal. Biochem. **29,** 230 (1969)].

Перколл (Pharmacia) – коллоидные частицы силикагеля, покрытые поливинилпирролидоном (ПВП). Содержание ПВП в покрытых частицах ~ 12%; 1 ÷ 2% свободного ПВП. Средний диаметр покрытых частиц 21 ÷ 22 нм (при разбросе 15 ÷ 30 нм). В отсутствие солей или сахарозы может быть стерилизован автоклавированием при 120°C в течение 20 мин без разложения. Макс. возможная плотность в градиентах ρ_{max} 1,30 г/мл. Низкое осмотическое давление. Низкая вязкость, на которую влияет ионная сила. При плотности 1,20 в 0,15 М NaCl вязкость ~ 10 сПз; в 0,25 М раств. сахарозы ~ 30 сПз. Поставляется в виде 23%-ного (масс./об.) коллоидного раств. с плотностью 1,130 ± 0,005. См. обзор [Anal. Biochem. **88,** 271 (1978)].

5. Осадители белков

а) *Вольфрамовая кислота*
[JBC **38,** 81 (1919); **182,** 29 (1950)].

Раствор А. 10%-ный (масс./об.) раствор вольфрамата натрия ($Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$) в воде.
Раствор Б. 0,335 М H_2SO_4.

Образец ткани гомогенизируют с водой до желаемого разбавления, затем добавляют раствор вольфрамата, после чего по каплям, тщательно перемешивая, добавляют равный объем серной кислоты. В другом варианте равные объемы растворов А и Б можно смешать перед добавлением к образцу. Смешанный реагент неустойчив; его не следует хранить более двух недель, при появлении осадка готовить заново. Фильтрат, получаемый в результате осаждения вольфрамовой кислотой, имеет pH ~ 6,5.

Приблизительные количества, необходимые для полного осаждения белка (из тканей крысы)

Ткань	Количество ткани	Количество H_2O для гомогенизации, мл	Раствор А	Раствор Б
Кровь	1 мл	7 мл	1 мл	1 мл
Плазма	1 мл	8 мл	0,5 мл	0,5 мл
Печень	1 г	7,5 мл	0,75 мл	0,75 мл
Мозг	1 г	3,4 мл	0,3 мл	0,3 мл
Мышца	1 г	2,8 мл	0,6 мл	0,6 мл
Селезенка	1 г	8,1 мл	0,45 мл	0,45 мл

б) *Сульфат цинка – щелочь*
[JBC **86,** 655 (1930); **160,** 69 (1945)].

Вместо $ZnSO_4$ можно использовать сульфат кадмия, однако никаких особых преимуществ как осадитель белка он не дает.

1) Раствор А. 10%-ный раствор $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$.
Раствор Б. 0,5 М раствор NaOH.

При титровании по фенолфталеину на 10 мл раствора А, разбавленного 70 мл H_2O, должно

расходоваться ~ 11 мл раствора Б (в течение достаточно долгого времени должна сохраняться розовая окраска).

1 мл крови разбавляют до 8 мл, добавляют 1 мл раствора А, перемешивают, добавляют 1 мл раствора Б, вновь перемешивают и фильтруют. В случае других тканей реагенты берут в тех же соотношениях, что и при использовании вольфрамовой кислоты.

2) Раствор А. 12,5 г $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ + 125 мл 0,125 М H_2SO_4. Общий объем раствора доводят до 1 л водой.

Раствор Б. 0,75 М NaOH.

При титровании по фенолфталеину на 50 мл раствора А расходуется 6,7 ÷ 6,8 мл раствора Б (в течение достаточно долгого времени должна сохраняться розовая окраска).

К 1 мл крови добавляют 8 мл раствора А и перемешивают. Добавляют 1 мл раствора Б, перемешивают и фильтруют. В случае других тканей работают по этой же методике.

3) Раствор А. 5%-ный раствор $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$.

Раствор Б. 0,15 М $Ba(OH)_2$.

При титровании по фенолфталеину на 10 мл раствора А, разбавленного 100 мл H_2O, расходуется 10 мл раствора Б (в течение достаточно долгого времени должна сохраняться розовая окраска).

1 мл крови разбавляют 5 мл H_2O. Добавляют 2 мл раствора А, перемешивают и добавляют 2 мл раствора Б; раствор перемешивают и фильтруют. В случае других тканей работают по этой же методике.

в) *Трихлороуксусная кислота*

При исследовании крови смешивают 1 мл образца с 9 мл 10%-ной (масс./об.) трихлороуксусной кислоты; раствор центрифугируют или фильтруют. В случае тканевых экстрактов, инкубационных смесей ферментов и других объектов обычно достаточно создания в конечном растворе концентрации трихлороуксусной кислоты 3 ÷ 5% (масс./об.) для обеспечения полного осаждения белков. Небелковый азот остается в супернатанте. После удаления осадка белка трихлороуксусную кислоту в значительной мере можно удалить из супернатанта путем многократной экстракции диэтиловым эфиром, насыщенным водой.

г) *Хлорная кислота*

В случае тканевых экстрактов, инкубационных смесей ферментов и других объектов добавляют такое количество хлорной кислоты, чтобы ее конечная концентрация составляла 3 ÷ 5% (0,3 ÷ 0,5 моль/л). После центрифугирования избыток хлорной кислоты можно осадить в виде калиевой соли, нейтрализуя супернатант раствором KOH, K_2CO_3 или K_3PO_4 при охлаждении до 0°С (осадок $KClO_4$ удаляют путем центрифугирования). Не следует допускать нагревания реакционной смеси во время центрифугирования, так как растворимость $KClO_4$ гораздо выше при комнатной температуре, чем при 0°С.

д) *Этанол*

Добавляют такое количество этанола, чтобы конечная концентрация составила 75–80% (об./об.); смесь нагревают (лучше до кипения в течение 1–2 мин), охлаждают, центрифугируют и декантируют супернатант. Для удаления этанола и липидного материала добавляют 3 объема $CHCl_3$; смесь тщательно перемешивают и центрифугируют. Этанол переходит в слой (нижний) $CHCl_3$.

24. Определения, формулы и понятия

1. Концентрация и плотность концентрированных кислот и аммиака (приблизительные значения)

Вещество	*M*	Концентрация, %	Молярная концентрация, моль/л	Количество, необходимое для приготовления 1 л 1 М раствора, мл	Плотность
Уксусная кислота	60,05	99,6	17,4	57,5	1,05
Аммиак	17,03	25	13,3	75,1	0,91
		35	18,1	55,2	0,88
Муравьиная кислота	46,03	90	23,6	42,4	1,205
		98	25,9	38,5	1,22
Соляная кислота	36,46	36	11,6	85,9	1,18
Азотная кислота	63,01	70	15,7	63,7	1,42
Хлорная кислота	100,46	60	9,2	108,8	1,54
		72	12,2	82,1	1,70
Фосфорная кислота	98,00	85	14,7	67,8	1,70
Серная кислота	98,07	98	18,3	54,5	1,835

2. Давление – температура (для автоклавов)

1 фунт/дюйм^2 = 6895 Па; 1 атм. = 101325 Па; 1 мм рт. ст. = 133,3 Па

Давление		Температура	
фунт/дюйм^2	кПа	В шкале Цельсия, °С	В шкале Фаренгейта, F
0	0	100,0	212,0
1	6,89	101,9	215,4
2	13,79	103,6	218,5
3	20,68	105,3	221,5
4	27,58	106,9	224,4
5	**34,47**	**108,4**	**227,1**
6	41,37	109,8	229,6
7	48,26	111,3	232,3
8	55,16	112,6	234,7
9	62,05	113,9	237,0
10	**68,95**	**115,2**	**239,4**
11	75,84	116,4	241,5
12	82,74	117,6	243,7
13	89,63	118,8	245,8
14	96,53	119,9	247,8
15	**103,42**	**121,0**	**249,8**
16	110,32	122,0	251,6
17	117,21	123,0	253,4
18	124,11	124,1	255,4
19	131,00	125,0	257,0
20	**137,90**	**126,0**	**258,8**
25	172,37	130,4	266,7
30	206,84	134,5	274,1

Давление		Температура	
фунт/дюйм^2	кПа	В шкале Цельсия, °C	В шкале Фаренгейта, F
35	241,32	138,1	280,6
40	275,79	141,5	286,7
45	310,26	144,6	292,3
50	**344,74**	**147,6**	**297,7**
60	413,69	153,0	307,4
70	482,63	157,8	316,0
80	551,58	162,1	323,8
90	620,53	166,2	331,2
100	**689,48**	**169,9**	**337,8**

3. Центрифужное поле (g)

Центрифужное поле (g) можно вычислить по формулам:

$$g = 1118 \cdot 10^{-8} \cdot R \cdot N^2$$

где R (см) – радиус от центра ротора до точки, в которой необходимо вычислить центрифужное поле, N (об/мин) – скорость вращения ротора;

$$g = 284 \cdot 10^{-7} \cdot R \cdot N^2$$

где R (дюймы) – радиус от центра ротора до точки, в которой необходимо вычислить центрифужное поле, N (об/мин) – скорость вращения ротора.

4. Спектрофотометрические понятия

IUPAC рекомендует следующие определения:

$$A = -\lg T = \lg I_0/I = \varepsilon lc$$

где A – поглощение, T – пропускание, I_0 – интенсивность падающего света, I – интенсивность пропущенного света, ε – коэффициент молярного поглощения; c (моль/л) – концентрация; l (см) – длина оптического пути.

ε численно равен поглощению 1 М раствора при длине пути света 1 см. Он имеет размерность л/(моль·см) или $M^{-1} \cdot см^{-1}$ (но не см^2/моль); для соединений, сильно поглощающих видимый или УФ-свет, например пуринов, пиримидинов, флавинов, порфиринов, никотинамиднуклеотидов и других, $\varepsilon \sim 10^3 \div 10^5$.

Ранее широко использовалось выражение концентрации в моль/мл. В этом случае ε численно равен поглощению раствора, содержащего 1 моль/мл, при длине пути света 1 см; и размерность ε см^2/моль; $\varepsilon \approx 10^6 \div 10^8$.

5. Оптическое вращение

$$[\alpha] = 100\alpha/lc$$

где $[\alpha]$ – удельное вращение для 10-сантиметрового слоя раствора, содержащего 1 г/мл вещества. Температура измерения указана в верхнем индексе, используемая длина волны в нижнем индексе (D-линия натрия, 589 нм); α – наблюдаемое вращение, l (дм) – длина пути света; c (г/100 мл) – концентрация раствора.

$[M]$ – молярное вращение; это вращение для 10-сантиметрового слоя раствора вещества, содержащего 1 моль/100 мл.

$$[M] = (M/100)[\alpha]$$

где M – молекулярная масса.

6. Окислительно-восстановительный потенциал

Окислительно-восстановительный потенциал – электродный потенциал полуячейки, содержащей смесь окисленных и восстановленных форм окислительно-восстановительной системы,

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{Ox}}{a_{Red}}$$

где E – наблюдаемый потенциал, E_0 – стандартный потенциал, определяемый как потенциал системы, когда активность всех присутствующих реагентов равна единице, R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; n – число эквивалентов, участвующих в реакции; F – число Фарадея (96494 Кл), a_{Ox} – активность окисленной формы; a_{Red} – активность восстановленной формы. На практике электродный потенциал часто принимают равным E_0, когда концентрации окисленной и восстановленной форм равны и не обязательно имеют единичную величину.

Отметим, что для реакций с участием протона E_0 – стандартный электродный потенциал при единичной активности ионов водорода, т. е. pH 0. Для таких реакций обозначение E'_0 указывает, что измерения проводились при pH, отличных от 0. При биохимических исследованиях pH обычно равно 7.

7. Единицы ферментативной активности

Чаще всего принято характеризовать активность фермента скоростью катализируемой реакции, например в мкмолях превращающегося субстрата в 1 мин или в мкмолях образующегося продукта в 1 мин.

Кроме того, в настоящее время используют еще две единицы ферментативной активности: стандартная единица U (или единица активности) [Enzyme Nomenclature, Recommendations, 1964] и катал. (*сокращ.* кат.) [Enzyme Nomenclature, Recommendations, 1972] (используется в работах по химической кинетике и имеет целью облегчить переход к единицам СИ).

Единица активности U (1U) фермента – это такое его количество, которое при определенных условиях катализирует превращение 1 мкмоля субстрата в 1 мин, или, если атаке подвергается более, чем одна связь в молекуле субстрата, 1 мкэкв (группы) в 1 мин.

1 катал (кат) – это такая каталитическая активность, которая увеличивает скорость реакции на 1 моль/с в определенной тест-системе. (Объяснения см. в [EJB **97**, 319 (1979)].)

В обоих случаях строго оговариваются условия, т. е. температура, pH, концентрация субстрата.

Удельная активность в первых двух случаях обычно выражается соответственно в мкмоль/(мин·мг) (или ед. акт./мг). Если ферментативная активность выражается в каталах, удельная активность должна быть представлена в кат/кг.

1 мкмоль/мин ≡ 1 ед. акт. ≡ 16,67 нкат

8. Растворимость газов. Коэффициенты Бунзена

По определению коэффициент Бунзена α – это объем (мл) газа, приведенный к 0°C и давлению 760 мм, растворяющийся в 1 мл воды (или другой жидкости), когда давление газа составляет 760 мм рт. ст.

а) *В воде*

Температура, °С	O_2	H_2	N_2	CO_2
0	0,049	0,021	0,024	1,713
5	0,043	0,020	0,021	1,424
10	0,038	0,020	0,019	1,194
15	0,034	0,019	0,017	1,019
20	0,031	0,018	0,015	0,878
25	0,028	0,018	0,014	0,759
30	0,026	0,017	0,013	0,665
35	0,024	0,017	0,013	0,592
37	0,024	0,017	0,012	0,567
38	0,023	0,017	0,012	0,550
40	0,023	0,016	0,012	0,530
45	0,022	0,016	0,011	0,479
50	0,021	0,016	0,011	0,436

б) *В солевых растворах и других системах*

1) Диоксид углерода [*Van Slyke et al*, JBC **78,** 765 (1928)].

α_{CO_2} при 38 °С в различных солевых растворах (α_{CO_2} при 38 °С в воде 0,546)

Концентрация, моль/л	NaCl	KCl	Лактат натрия	KH_2PO_4	NaH_2PO_4
0,15	0,529	0,532	0,522	0,516	0,510
0,30	0,511	0,520	0,500	0,490	0,480

α_{CO_2} при 38°С в растворе Рингера 0,537, в сыворотке 0,510.

Влияние индивидуальных ионов аддитивно, по крайней мере в растворах с концентрацией $< 0{,}5$ моль/л, и Ванслайк и др. приводят следующие значения понижения α_{CO_2} при молярной концентрации иона 1 моль/л (38°С):

H^+	Na^+	K^+	Cl^-	$H_2PO_4^-$	Лактат$^-$	$HC_2O_4^-$
0,0	0,085	0,053	0,029	0,137	0,066	0,026

α_{CO_2} в H_2SO_4 (25°С):

H_2SO_4, моль/л	0,25	0,5	1
α_{CO_2}	0,727	0,705	0,669

Дополнительные данные о значениях α_{CO_2} в растворах солей, кислот и неэлектролитах (главным образом при 25 и 40°С) приведены в [JBC **78,** 765 (1928); International Critical Tables, vol. 3, p. 279, 1928; JACS **63,** 449, 1165 (1941); JACS **65,** 2030 (1943)].

2) Кислород. Растворимость кислорода (а также водорода и азота) в солевых растворах значительно меньше, чем в воде. Например, α_{O_2} (25°С) в 1 М H_2SO_4 0,023; в 2 М NaCl 0,015.

Чеппелл [BJ **90,** 225 (1964)] описывает метод определения концентрации растворенного в любом солевом растворе кислорода с использованием кислородного электрода. Он дает следующие значения концентрации O_2 в насыщенном воздухом буфере (pH 7,2), содержащем 80 мМ KCl; 15 мМ P_i и 20 мМ триэтаноламин:

Температура, °С	15	20	25	30	35	40
Концентрация кислорода в насыщенном воздухом буфере, мкг-атом/мл	0,575	0,51	0,474	0,445	0,41	0,38

25. Атомные массы

Данные на 1981 г. [Pure & Appl. Chem. **55**, 1101 (1983)].
За основу шкалы атомных масс принята атомная масса ^{12}C, равная 12.

Элемент	Символ	Атомный номер	Атомная масса
Азот	N	7	14,0067
Алюминий	Al	13	26,98154
Аргон	Ar	18	39,948
Барий	Ba	56	137,33
Бериллий	Be	4	9,01218
Бор	B	5	10,81
Бром	Br	35	79,904
Ванадий	V	23	50,9415
Висмут	Bi	83	208,9804
Водород	H	1	1,00794
Вольфрам	W	74	183,85
Гадолиний	Gd	64	157,25
Галлий	Ga	31	69,72
Гафний	Hf	72	178,49
Гелий	He	2	4,00260
Германий	Ge	32	72,59
Гольмий	Ho	67	164,9304
Диспрозий	Dy	66	162,50
Европий	Eu	63	151,96
Железо	Fe	26	55,847
Золото	Au	79	196,9665
Индий	In	49	114,82
Иод	I	53	126,9045
Иридий	Ir	77	192,22
Иттербий	Yb	70	173,04
Иттрий	Y	39	88,9059
Кадмий	Cd	48	112,41
Калий	K	19	39,0983
Кальций	Ca	20	40,08
Кислород	O	8	15,9994
Кобальт	Co	27	58,9332
Кремний	Si	14	28,0855
Криптон	Kr	36	83,80
Ксенон	Xe	54	131,29
Лантан	La	57	138,9055
Литий	Li	3	6,941
Лютеций	Lu	71	174,967
Магний	Mg	12	24,305
Марганец	Mn	25	54,9380
Медь	Cu	29	63,546
Молибден	Mo	42	95,94
Мышьяк	As	33	74,9216
Натрий	Na	11	22,98977
Неодим	Nd	60	144,24
Неон	Ne	10	20,179
Никель	Ni	28	58,69
Ниобий	Nb	41	92,9064
Олово	Sn	50	118,69
Осмий	Os	76	190,2

Элемент	Символ	Атомный номер	Атомная масса
Палладий	Pd	46	106,42
Платина	Pt	78	195,08
Празеодим	Pr	59	140,9077
Рений	Re	75	186,207
Родий	Rh	45	102,9055
Ртуть	Hg	80	200,59
Рубидий	Rb	37	85,4678
Рутений	Ru	44	101,07
Самарий	Sm	62	150,36
Свинец	Pb	82	207,2
Селен	Se	34	78,96
Сера	S	16	32,06
Серебро	Ag	47	107,8682
Скандий	Sc	21	44,9559
Стронций	Sr	38	87,62
Сурьма	Sb	51	121,75
Таллий	Tl	81	204,383
Тантал	Ta	73	180,9479
Теллур	Te	52	127,60
Тербий	Tb	65	158,9254
Титан	Ti	22	47,88
Торий	Th	90	232,0381
Тулий	Tm	69	168,9342
Углерод	C	6	12,011
Уран	U	92	238,0289
Фосфор	P	15	30,97376
Фтор	F	9	18,998403
Хлор	Cl	17	35,453
Хром	Cr	24	51,996
Цезий	Cs	55	132,9054
Церий	Ce	58	140,12
Цинк	Zn	30	65,38
Цирконий	Zr	40	91,22
Эрбий	Er	68	167,26

Кратные атомные массы

Множитель	Фосфор P *M* 30,97376	Сера S *M* 32,06	Хлор Cl *M* 35,453	Вода H_2O *M* 18,0153	Множитель
1	30,97	32,06	35,45	18,02	1
2	61,95	64,12	70,91	36,03	2
3	92,92	96,18	106,36	54,05	3
4	123,90	128,24	141,81	72,06	4
5	154,87	160,30	177,27	90,08	5
6	185,84	192,36	212,72	108,09	6
7	216,82	224,42	248,17	126,11	7
8	247,79	256,48	283,62	144,12	8
9	278,76	288,54	319,08	162,14	9
10	309,74	320,60	354,53	180,15	10
20	619,48	641,20	709,06	360,31	20
30	929,21	961,80	1063,59	540,46	30
40	1238,95	1282,40	1418,12	720,61	40
50	1548,69	1603,00	1772,65	900,76	50
100	3097,38	3206,00	3545,30	1801,53	100

Множитель	Углерод C *M* 12,011	Водород H *M* 1,00794	Азот N *M* 14,0067	Кислород O *M* 15,9994	Множитель
1	12,01	1,01	14,01	16,00	1
2	24,02	2,02	28,01	32,00	2
3	36,03	3,02	42,02	48,00	3
4	48,04	4,03	56,03	64,00	4
5	60,06	5,04	70,03	80,00	5
6	72,07	6,05	84,04	96,00	6
7	84,08	7,06	98,05	112,00	7
8	96,09	8,06	112,05	128,00	8
9	108,10	9,07	126,06	143,99	9
10	120,11	10,08	140,07	159,99	10
11	132,12	11,09	154,07	175,99	11
12	144,13	12,10	168,08	191,99	12
13	156,14	13,10	182,09	207,99	13
14	168,15	14,11	196,09	223,99	14
15	180,17	15,12	210,10	239,99	15
16	192,18	16,13	224,11	255,99	16
17	204,19	17,13	238,11	271,99	17
18	216,20	18,14	252,12	287,99	18
19	228,21	19,15	266,13	303,99	19
20	240,22	20,16	280,13	319,99	20
21	252,23	21,17	294,14	335,99	21
22	264,24	22,17	308,15	351,99	22
23	276,25	23,18	322,15	367,99	23
24	288,26	24,19	336,16	383,99	24
25	300,28	25,20	350,17	399,99	25
26	312,29	26,21	364,17	415,98	26
27	324,30	27,21	378,18	431,98	27
28	336,31	28,22	392,19	447,98	28
29	348,32	29,23	406,19	463,98	29
30	360,33	30,24	420,20	479,98	30
40	480,44	40,32	560,27	639,98	40
50	600,55	50,40	700,34	799,97	50
60	720,66	60,48	840,40	959,96	60
70	840,77	70,56	980,47	1119,96	70
80	960,88	80,64	1120,54	1279,95	80
90	1080,99	90,71	1260,60	1439,95	90
100	1201,10	100,79	1400,67	1599,94	100

Предметный указатель

Абрин *241*
Абсцизин II *201*
Абсцизовая кислота *201*
Авидин *101*
Агароза N-гидроксисукцинимидактивированная *449*
– эпоксиактивированная *448*
Агарозы активированные *446*
– с присоединенными спейсерами *447*
Агенты хаотропные *239*
АГМГК *273*
АГТТ *407*
Аденилилимидодифосфат *212*
Аденилил(β,γ-метилен)дифосфонат *212*
5′-Аденилилсульфат *73*
Аденнловая кнслота *72*
– – дрожжевая *72*
– – мышечная *73*
Аденин *71, 89, 343*
Аденинарабинозид *213*
Аденин-β-D-арабинофуранозид *213*
Аденин-β-D-арабинофуранозид-5′-трифосфат *213*
Адениндезоксирибозид *74*
Адениндезоксирибозо-5′-трифосфат *74*
Адениндезоксирибозо-3′-фосфат *75*
Адениндезоксирибозо-5′-фосфат *75*
Аденинрибозид *72*
S-Аденозилгомоцистеин *11*
Аденозилкобаламин *106*
S-Аденозилметионин *12*
Аденозин *72, 89*
Аденозин-5′-дифосфат *72, 89*
Аденозин-5′-дифосфо-α-D-глюкопираноза *140*
Аденозин-5′-(β,γ-имидо)трифосфат *212*
Аденозин-5′-(β,γ-метилен)трифосфат *212*
Аденозин-5′-моносульфат, Ba-соль *263*
Аденозин-5′-сульфофосфат *73*
Аденозин-5′-O-(2-тиодифосфат) *209*
Аденозин-5′-O-(3-тиотрифосфат) *214*
Аденозин-5′-O-тиофосфат *212*
Аденозин-5′-трифосфат *72, 89*
Аденозин-2′-фосфат *72, 89*
Аденозни-3′-фосфат *72, 90*
Аденозин-5′-фосфат *73, 90*
Аденозин-3′-фосфат-5′-фосфосульфат *73*
Аденозин-5′-фосфосульфат *73*
Аденозин-2′,3′-циклофосфат *73*
Аденозин-3′,5′-циклофосфат *74*
Адипиновая кислота *38*
Адиуретин *18*
Адонитол *126*
Адоноза *126*
D-Адреналин *12*
Адренокортикотропин *27*
Адренокортикотропный гормон *27*
Адриамицин *217*
8-Азагуанин *210*
8-Аза-9-деазааденозин *224*
8-Аза-9-деазаинозин *224*
Азасерин *210*
7-Азатриптофан *226*
Азациклопропан *333*
Азеботин *245*
Азелаиновая кислота *142*
Азетидин-2-карбоновая кислота *227*
Азид водорода *251*
Азид натрия *251*
Азиридин *333*
Азолитмин *372*
Азотистая кислота *319, 410*
Азотистоводородная кислота *251*
– – Na-соль *251*
Азотная кислота *474*
Азотный "иприт" *216*
Азур А7 *404*
АИА *282*
Аквакобаламин *102*
Аквокобаламин, кислый раствор *102*

Аконитовая кислота, *транс*-изомер *38*
– – *цис*-изомер *38*
Акридиновый оранжевый *379*
Акриламид *376*
Акриловая кислота *38*
Акрифлавин *222*
Акрихин *252*
Аксерофтол *114*
АКТГ *27*
"Активный ацетальдегид" *102*
Активный метионин *12*
"Активный формальдегид" *108*
"Активный формиат" *108*
Актидион *232*
Актиномицин *210*
Актиномицин D *210*
Аламетицин *246*
Аланап *206*
β-Аланил-L-гистидин *26*
Аланин *13, 389*
α-Аланин *341, 353*
β-Аланин *13, 341, 353*
Алар *201*
Алеваир *239*
Ализарин желтый *372*
1-(Алкен-1′-ил)-2-ацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-О-этаноламин *149*
1-Алкил-2-ацил-*sn*-глицеро-3-фосфоэтаноламин *144*
N-Алкил-N,N-диметил-3-аммоний-1-пропансульфонаты *235*
Алкоксидиглицерид *144*
6-Алкоксифосфолипиды *144*
Аллантоин *13*
Аллилизопропилацетамид *282*
Аллилэстренол *165*
17-Аллилэстрен-4-ол-17β *165*
Аллоксан *282*
Аллолактоза *135*
Альбумин бычий сывороточный *316*
Альдактон *262*
Альдегидогенная реакция *418*
Альдостерон *167*
D-Альтрогептулоза *135*
Альциановый синий *404*
Алюминия соли *411*
Алюмогель C_{α} *463*
– C_{γ} *463*
α-Аманитин *211*
Амберлиты *428–431*
Аметоптерин *211*
Амигдалоза *135*
N-Амидиноглицин *21*
N-5-Амидиноорнитин *15*
Амизол *251*
Амилобарбитон *283*
– Na-соль *283*
Аминазин *292*
2-Аминоадипиновая кислота *13*
α-Аминоадипиновая кислота *13*
α-Амино-β-(7-аза-3-индолил)пропионовая кислота *226*
L-2-Амино-4-(2′-амино-3′-гидроксипропокси)-*транс*-бутен-3-овая кислота *207*
о-Аминоацетофенон *382*
п-Аминоацетофенон *424*
– диазотированный *424*
Аминоацил-транспортная РНК *13*
Аминоацил-тРНК *13*
м-Аминобензамидин *452*
п-Аминобензамидин *452*
о-Аминобензойная кислота *15*
п-Аминобензойная кислота *99, 424*
– – диэтиламиноэтиловый эфир *288*
п-Аминобензолсульфамид *275*
2-Аминобутановая кислота *14*
4-Аминобутановая кислота *14*
γ-Аминобутирин *23*
δ-Аминовалериановая кислота *266*
2-Аминогександиовая кислота *13*
2-Аминогексановая кислота *30*

4-Амино-5-гидразино-1,2,4-триазол-тиол-3 *407*
2-Амино-3-гидроксибензойная кислота *18*
2-Амино-3-гидроксибутановая кислота *33*
2-Амино-4-гидроксибутановая кислота *22*
4-Амино-2-гидрокси-5-гидроксиметил-пиримидин *76*
2-Амино-4-гидрокси-6-(L-*эритро*-1,2-дигидроксипропил)птеридин *101*
2-Амино-4-гидроксимасляная кислота *22*
4-Амино-3-гидрокси-6-метилгептановая кислота *273*
4-Амино-2-гидроксн-5-метилпиримидин *81*
4-Амино-2-гидроксипиримидин *87*
4-(2-Амино-3-гидроксипропил)имидазол *21*
2-Амино-3-гидроксипропионовая кислота *31*
2-Амино-6-гидроксипурин *77*
5-Амино-7-гидрокси-1-*υ*-тиазол[*d*]-пиримидин *210*
2-Амино-4-гидрокси-6-формилптеридин *274*
4-(2-Амино-1-гидроксиэтил)-1,2-бенздиол *29*
n-Аминогиппуровая кислота *399*
2-Аминоглутаминовая кислота *22*
2-Аминоглутаровая кислота *21*
Аминоглутетимид *261*
2-Амино-5-гуанидиновалериановая кислота *15*
α-Амино-γ-гуанидинокси-*н*-масляная кислота *227*
2-Амино-5-гуанидинопентановая кислота *15*
2-Амино-2-дезокси-D-галактозы гидрохлорид *128*
2-Амино-2-дезокси-D-глюкоза *129*
2-Амино-2-дезокси-D-глюкозо-6-фосфат *59*
2-Амино-2-дезокси-3-O-(β-D-глюкопиранозилуроновая кислота)-D-галактопираноза *138*
2-Амино-2-дезокси-3-O-(β-D-глюкопиранозилуроновая кислота)-D-глюкопираноза *136*
2-Амино-1,5-дигидро-1-метил-4H-имидазол-4-он *27*
n-Аминодиметиланилин *397*
D-4-Амино-3-изоксазолидон *280*
2-Аминоизомасляная кислота *14*
3-Аминоизомасляная кислота *14*
α-Аминоизомасляная кислота *14*
β-Аминоизомасляная кислота *14*
β-Амино-1H-имидазолил-4-пропанол *21*
α-Амино-1H-имидазолил-4-пропионовая кислота *21*
5-Аминоимидазол-4-карбоксамид *14*
- рибонуклеотид *56*
5-Амино-1H-имидазол-4-карбоксамид *14*
5-Аминоимидазол-4-карбоксамидрибонуклеотид *56*
β-Амино-1H-имидазол-4-пропанолфосфат *58*
N-(Аминоиминометил)глицин *21*
N-(Аминоиминометил)-N-метилглицин *27*
α-Амино-β-(3-индазол)пропионовая кислота *230*
α-Амино-3-индолилпропионовая кислота *34*
α-Аминокапроновая кислота *229*
ε-Аминокапроновая кислота *266*
N-[[(4-Амино-4-карбоксибутил)амино]иминометил]-L-аспарагиновая кислота *15*
(3-Амино-3-карбоксипропил)диметилсульфонийбромид *28*
5′-[(3-Амино-3-карбоксипропил)метилсульфоний]-5′-дезоксиаденозин *12*
5′-S-(3-Амино-3-карбоксипропил)-5′-тиоаденозин *11*

(R)-S-(2-Амино-2-карбоксиэтил)-L-гомоцистеин *35*
2-Амино-3-O-(1-карбоксиэтил)-2-дезокси-D-глюкоза *133*
S-(2-Амино-2-карбоксиэтил)цистеин *27*
Амииокарбоииласпарагиновая кислота *25*
N-[2-(Аминокарбонил)окси]этил-N,N,N-триметиламмонийхлорид *25*
N-5-Аминокарбонилорнитин *36*
5-Аминолевулиновая кислота *14*
δ-Аминолевулиновая кислота *14*
2-Аминомасляная кислота *14*
4-Аминомасляная кислота *14*
α-Аминомасляная кислота *14, 341*
γ-Аминомасляная кислота *14, 353, 389*
2-Амино-4-меркаптобутановая кислота *22*
2-Амино-3-меркаптопропионовая кислота *36*
2-Амино-6-меркаптопурин *224*
Аминометан *28*
2-Амино-3-метилбутановая кислота *18*
α-Амино-β-(1-метил-4-имидазол)пропионовая кислота *28*
α-Амино-β-(1-метил-5-имидазол)пропионовая кислота *28*
2-Амино-3-метилпентановая кислота *24*
2-Амино-4-метилпентановая кислота *27*
2-Амино-2-метилпропандиол-1,3 *353, 364*
2-Амино-2-метилпропанол-1 *264, 353*
2-Амино-2-метилпропионовая кислота *14*
3-Амино-2-метилпропионовая кнслота *14*
4-Амино-N^{10}-метилптероилглутаминовая кислота *211*
2-Амино-4-метилсульфинилбутановая кислота *29*
2-Амино-4-метилсульфонилбутановая кислота *29*
2-Амино-4-(метилтио)бутановая кислота *29*
1-Амино-1-(*п*-метоксифенил)метансульфоновая кислота *264*
α-Аминометоксифенилметансульфоновая кислота *264*
1-Амино-8-нафтол-5,6-дисульфоновая кислота *385*
α-Аминооксиуксусная кислота *264*
2-Амино-4-оксобутановая кислота *16*
5-Амино-4-оксопентановая кислота *14*
2-Аминопентановая кислота *30*
4-Аминопиридин *353*
3-Аминопропан-1,1,3-трикарбоновая кислота *25*
N-(3-Аминопропил)-1,4-диаминобутан *32*
2-Аминопропионовая кислота *13*
3-Аминопропионовая кислота *13*
6-Амино-9-D-псикофуранозилпурин *223*
Аминоптерин *211*
4-Аминоптероилглутаминовая кислота *211*
6-Аминопурин *71*
5-Амино-1-β-D-рибозилимидазол-4-карбоксамид-5′-фосфат *56*
Аминосалициловая кислота *382*
п-Аминосалициловая кислота *264*
α-Амино-β-сульфинопропионовая кислота *36*
2-Амино-3-сульфопропионовая кислота *36*
7α-*п*-Аминотиофениландростендион *262*
3-Амино-1H-1,2,4-триазол *251*
Аминоуксусная кислота *21, 366*
2-Амино-5-уреидопентановая кислота *36*
Аминофенилборная кислота *452*
2-Амино-3-фенилпропионовая кислота *34*
2-(*п*-Аминофенил)-2-этилглутаримид *261*
п-Аминофенол *398*
м-Аминофенолы *384*
о-Аминофенолы *384*
п-Аминофенолы *384*
Аминофиллин *264*
Аминоформамидингидрохлорид *266*
α-Амино-β-хлоромасляная кислота *227*
1-Аминоциклопентанкарбоновая кислота *245*

2-Аминоэтанол *37*
- О-фосфат *56*
2-Аминоэтансульфиновая кислота *20*
2-Аминоэтансульфоновая кислота *32*
2-Аминоэтантиол *35*
4(5)-(2-Аминоэтил)имидазол *21*
3-(2-Аминоэтил)индол *34*
2-Амино-2-этилпропандиол-1,3 *353*
n-(2-Аминоэтил)фенол *32*
2-Аминоэтилфосфат *56*
2-Аминоянтарная кислота *16*
- - полуамид *16*
Амины диазотированные *409*
Амитал *283*
- Na-соль *251*
Амитрол *251*
Аммиак *353, 370, 371, 474*
Амобарбитал *251*
Амфенон В *261*
Амфетамин *282*
- сульфат *283*
Амфотерицин В *247*
- Ме-эфир·HCl *247*
Анаприлин *289*
2,7-Ангидро-D-альтрогептулоза *135*
Ангидровитамин А *422*
Ангидрогидроксипрогестерон *167*
Ангидролейковорин *108*
N^5,N^{10}-Ангидроформилтетрагидрофолиевая кислота *108*
Ангиотензины *15*
Ангиотонин *15*
Андриамицин *209*
Андростандиол *160*
5α-Андростандиол-3β,17β *160*
Андростанолон *160*
Андростендион *160*
Андростен-4-дион-3,17 *160*
4-Андростен-3,17-дион *160*
Андростен-4-ол-17β-он-3 *161*
4-Андростен-17β-ол-3-он *161*
Андростерон *160*
транс-Андростерон *161*
Андросттриен-1,4,6-дион-3,17-5α-дигидротестостерон *262*
Аневрина гидрохлорид *116*
n-Анизидин *397*
Анилин *397, 399*
8-Анилинонафтил-1-сульфокислота *242*
Анилинфталат *421*
Анионы антихаотропные *239*
Анисовый альдегид *421*
Антабус *264*
Антибиотикн аминогликозидные *230*
- тетрациклиновые *230*
Антибиотик полиеновый *247*
- - нейтральный *250*
Антивинная кислота *40*
Антидиуретический гормон *18*
Антилюизит британский *316*
Антимицин *252*
Антимицин A_1 *252*
Антимицин A_3 *252*
Антипэин *273*
Антраниловая кислота *15, 382*
3-Антранилоилаланнн *26*
Антрахинон *400, 401*
Антрацен *414*
Антрипол *276*
Антрон *401*
Анцимидол *201*
Апоморфингидрохлорид *283*
D-Арабинитол *124*
D-Арабиногексулозоновая кислота *130*
Арабиноза *396*
D-Арабиноза *124*
L-Арабиноза *124*
UDP-L-Арабиноза *141*
Арабинозиладенин *213*
Арабинозилцитозин *213*
9-β-D-Арабинофуранозиладенин *213*
1-β-D-Арабинофуранозилцитозин *213*

D-Арабит *124*
D-Арабитол *124*
D-Арабокетоза *126*
D-Арабулоза *126*
Арахидоновая кислота *142*
– – метиловый эфир *158*
Арахиновая кислота *142*
Арбутин *308*
Аргинин *15, 341, 389, 393*
Аргининвазопрессин *18*
L-Аргининфосфат *66*
L-Аргининянтарная кислота *15*
Ареколин *288*
Ароматические альдегиды *421*
Арсенат натрия *257*
Арсенит натрия *405*
Арсенолит *256*
Артеренол *29*
Аскорбиновая кислота *99, 425, 426*
L-Аскорбиновая кислота *99*
Аскорбиновой кислоты оксо-таутомер *131*
Аспарагин *16, 341, 389*
Аспарагиновая кислота *16, 341, 353, 389*
– – β-моноамид *16*
Аспарагиновый полуальдегид *16*
β-L-Аспартилфосфат *56*
Астаксантин *199*
Астацин *198*
Атабрин *252*
Атебрингидрохлорид *252*
Атразин *252*
Атрактилат калия *242*
Атрактилозид *242*
Атропин *283, 288*
– сульфат *283*
Ауксин *205*
Ауреомицин *230, 343*
Ауринтрикарбоновая кислота *227*
Ауровертин B *252*
Ауровертин D *253*
Ауроксантин *198*
Афлатоксин B_1 *214*
Ацетазоламид *264*
Ацетальдегид *38*
Ацетальдегидогенная реакция *417*
Ацетальфосфатиды *149*
Ацетамид *16*
2-Ацетамид-2-дезокси-D-галактоза *126*
2-Ацетамид-2-дезокси-D-глюкоза *127*
2-Ацетамид-2-дезокси-D-манноза *127*
5-Ацетамид-3,5-дидезокси-D-глицеро-D-галактононулозоновая кислота *127*
N-(2-Ацетамидо)-2-аминоэтансульфоновая кислота *342*
2-Ацетамидо-2-дезокси-4-O-(2-ацетамидо-2-дезокси-β-D-глюкопиранозил)-D-глюкопираноза *136*
4-Ацетамидо-4′-изотиоцианостильбен-2,2′-дисульфоновая кислота, Na_2-соль *242*
N-(2-Ацетамидо)иминодиуксусная кислота *342, 352*
2-(3-Ацетамидо-5-N-метилацетамидо-2,4,6-трииодобензамидо)-2-дезокси-D-глюкоза *471*
DOCA-Ацетат *168*
Ацетат бария *425*
Ацетат калия *371*
Ацетат натрия *357, 371*
– – тригидрат *357*
Ацетат ртути *412*
Ацетат свинца *379*
Ацетил-CoA *100*
Ацетил-S-CoA *100*
2-Ацетиламино-2-дезоксиглюконолактон *265*
5-Ацетиламино-1,3,4-тиадиазол-2-сульфонамид *264*
Ацетилацетон *404*
N-Ацетил-D-галактозамин *126*
UDP-N-Ацетилгалактозамин *140*

N-Ацетилглутаминовая кислота *16*
N-Ацетил-D-глюкозамин *127*
UDP-N-Ацетилглюкозамин *140*
N-Ацетилглюкозаминолактон *265*
N-Ацетилглюкозамин-6-фосфат *57*
2-Ацетилдейтерогемохром *177*
1-Ацетилимидазол *319*
N-Ацетилимидазол *319*
Ацетилкофермент А *100*
Ацетилкоэнзим А *100*
N-Ацетил-D-маннозамин *127*
Ацетилметилкарбинол *39*
Ацетил-β-метилхолинхлорид *16*
N-Ацетил-5-метокситриптамин *17*
CMP-N-Ацетилнейраминовая кислота *141*
N-Ацетилнейраминовая кислота *127*
3′-Ацетокси-6′,7′-дидегидро-5,6-эпокси-5,5′,6,6′,7,8-гексагидро-3,5′-дигидрокси-8-оксо-β-каротин *199*
N-(2-Ацетоксипропил)-N,N,N-триметиламмонийхлорид *16*
N-Ацетил-L-тирозина этиловый эфир *304*
Ацетилфосфат *57*
Ацетилхлорид *422*
Ацетилхолин *17*
N-Ацетилхондрозамин *126*
N-Ацетилхондрозин *138*
Ацетин *315*
2-Ацетоамид-2-дезокси-D-глюкозо-1-фосфат *57*
2-Ацетоамид-2-дезокси-D-глюкозо-6-фосфат *57*
2-Ацетоацетил-4-метилфенол *382*
o-Ацетоацетилфенол *382*
Ацетоин *39*
4-Ацетоксиандростен-4-дион-3,17 *262*
17α-Ацетокси-6-метилпрегнадиен-4,6-дион-3,20 *166*
4-Ацетокси-2-нафтальдегид *421*
17α-Ацетокси-6-хлоропрегнадиен-4,6-дион-3,20 *167*
N-2-Ацетоксиэтил-N,N,N-триметиламмония бромид *17*
N-2-Ацетоксиэтил-N,N,N-триметиламмония гидроксид *17*
N-2-Ацетоксиэтил-N,N,N-триметиламмония иодид *17*
N-2-Ацетоксиэтил-N,N,N-триметиламмония хлорид *17*
Ацетон *39*
Ацетоуксусная кислота *39*
- - Li-соль *39*
Ацетоэруковая кислота *148*
Ацидогенная реакция *418*
Ацил-CoA *100*
S-Ацил-CoA *100*
1-Ацил-*sn*-глицеро-3-фосфохолин *147*
S-Ацилкофермент А *100*
S-Ацилкоэнзим А *100*
2-Ацилоксибензойные кислоты *314*
Ацилсалициловые кислоты *314*
Ацилсфингозилолигосахариды *143*
N-Ацил-*эритро*-сфингозин-1-фосфохолин *151*
Ацилхлоранилиды *255*
Аэрозоль ОТ *234*
Аэроспорин *250*
АЭ-целлюлоза *434*

Б*айала* реактив *407*
Байер 205 *276*
Бактериохлорофилл *a* *193*
Бактериохлорофилл *c* *193*
Бактериохлорофилл *d* *194*
Барбамил *251*
Барбан *260*
Барбитал *283*
- натрия *371*
Барбитон *283*
- натрия *284,362*

- растворимый *283*
Барбитураты, анестезирующие и снотворные средства *283*
Барбитуровая кислота *352*
Батиловый спирт *144*
Бацитрацин А *265*
Бацитрацины *265*
БГТ *459*
БД-целлюлоза *434*
Бегеновая кислота *142*
Беккерель *454*
Белок А *240*
Бенадрилгидрохлорид *285*
Бенгальский розовый *331, 332*
Бенемид *288*
2-(Бензгидрилокси)-N,N-диметилэтиламингидрохлорид *285*
Бенздиол-1,2 *45*
Бенздиол-1,4 *294*
Бензедрин *282*
Бензидин *398, 424*
- диазотированный *409*
N^6-Бензиладенин *201*
6-Бензиламинопурин *201*
6-Бензиламино-9-(тетрагидропиранил-2)пурин *207*
Бензилвиологен *203, 293*
1-Бензил-3-(3-диметиламинопропил)-карбодиимидгидрохлорид *326*
2-Бензилимидазол *265*
Бензилпенициллин *272*
Бензимидазол *202*
Бензоат натрия *371*
α-N-Бензоил-L-аргининамидгидрохлорид *304*
α-N-Бензоил-L-аргининэтилатгидрохлорид *305*
Бензоилглицил-L-аргинин *305*
Бензоилглицил-L-фенилаланин *305*
N-Бензоилглицин *21*
N-Бензоил-L-тирозина этиловый эфир *305*
Бензоилформальдегид *330*
Бензоилхлорид *422*
α-Бензоиноксим *336*
Бензойная кислота *39, 352, 371*
- - K-соль *39*
- - Na-соль *39*
Бензолкарбоновая кислота *39*
2,3-Бензопиррол *25*
Бензохинон *384*
3,4-Бензпирен *214*
2(3H)-Бензтиазолтиол *270*
Берлинская лазурь *387*
Бетаин *17*
Бетаметазон *169*
Бикарбонат калия *371*
Бикарбонат натрия *360, 371*
Биладиен(*a,c*)-IXα *180*
Билатриен-IXα *179*
Биливердин *179*
- солянокислый *179*
Билинейрин *35*
Билирубин *180*
Биогели *440, 441, 443*
Биоксалат калия *371*
Биологический эквивалент рада *454*
Биоптерин *101*
Биорексы *429, 431*
Биотин *101*
d-Биотин *101*
ε-N-Биотиноил-L-лизин *101*
Биоцитин *101*
α,α′-Бипиридил *337*
P^1,P^5-Бис(аденозин-5′)пентафосфат *213*
Бисакриламид *376*
Бис(2-амино-2-карбоксиэтил)сульфид *27*
N,N′-Бис(3-аминопропил)-1,4-диаминобутан *32*
3,3-Бис(*n*-аминофенил)бутанон-2 *261*
Бисгидроксикумарин *254, 284*
N,N-Бис(2-гидроксиметил)глицин *365*

N,N-Бис(2-гидроксиэтил)-2-аминоэтан-сульфоновая кислота *352*
N,N-Бис(гидроксиэтил)глицин *336*
N,N-Бис(2-гидроксиэтил)глицин *353*
Бис(1,2-диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо)-1′,3′-*sn*-глицерин *146*
3,7-Бис(диметиламинофеназатионийхлорид) *297*
Бис(2-диметиламиноэтил)сукцинат-бис(метобромид) *286*
Бисимидаты *320*
Бисимидоэфиры *320*
Бис(4-метилумбеллиферил)фосфат *311*
Бис(*n*-нитрофеннл)фосфат, Са-соль *312*
2,3-Бис(3-пиридил)-2-метилпропан-он-3 *262*
Бисульфат натрия *371*
Бисформазан *299*
2,2′-Бис(8-формил-1,6,7-тригидрокси-5-изопропил-3-метилнафталин) *254*
2,3-Бис(фосфо)-D-глицерат *61*
N,N-Бис(фосфонометил)глицин *202*
Бис(2-хлороэтил)сульфид *216*
Бис(2-этилгексил)сульфосукцинат натрия *234*
Биурет никеля *380*
Биуретовый метод *465*
Биуретовый реагент *465*
3,3′-(4,4′-Бифенилен)-бис(2,5-дифенил-2H-тетразолийхлорид) *299*
Бицин *336*
Блеомицин *214*
БНД-целлюлоза *434*
Бонгкрековая кислота *243*
Боратные буферные растворы *366, 367*
Борная кислота *353, 370, 371*
Борогидрид натрия *298, 328*
Брадикинин *18*
Брассидиновая кислота *156*
Брахиоза *136*
Бревидил М *286*
Брентамин стойкий синий В, основной *416*
Брея сцинтиллятор *459*
Бридж *236*
Бриллиантовый крезиловый синий *293*
Бром *412, 420*
5-Бромо-2′-дезоксиуридин *215*
Бромокрезоловый зеленый *372, 379, 382, 416*
Бромокрезоловый синий *372*
Бромокрезоловый пурпурный *372, 379*
Бромокриптин *171*
– мезилат *171*
α-Бромо-4-нитро-*о*-крезол *321*
N-Бромосукцинимид *320*
Бромотимоловый синий *372, 379*
5-Бромоурацил *215*
Бромофеноловый синий *372*
Бромоциан *321, 424, 446*
2-Бромо-α-эргокриптин *171*
Брушит *464*
Брэдфорда методика *466*
БСА *316*
БСИ *320*
α-Буигаротоксин *243*
β-Бунгаротоксин *243*
Бунзена коэффициенты *476*
Бура *371*
2,3-Бутадион *321*
Бутаналь *46*
1,4-Бутандиамин *31*
Бутан-1,4-дикарбоновая кислота *38*
Бутандикислоты ангидрид *333*
Бутандиовая кислота *54*
Бутандиол-2,3 *40*
Бутандион-2,3 *44, 321*
2,3-Бутандиондиоксим *336*
Бутановая кислота *46*
Бутантетрол-1,2,3,4 *124*
цис-Бутендикислоты ангидрид *326*
транс-Бутендиовая кислота *52*

цис-Бутендиовая кислота *46*
транс-2-Бутеновая кислота *45*
н-Бутиламин *353*
трет-Бутилгипохлорит *391*
2,3-Бутиленгликоль *40*
2-(4′-*трет*-Бутилфенил)-5-(4′′-бифенилил)-1,3,4-оксадиазол *459*
втор-Бутил-N-(3-хлорофенил)карбамат *260*
трет-Бутилхромат *415, 418*
Бутирилхолинхлорид *18*
Бутирин *14, 315*
Буферная емкость *348*
БХФК *260*
Бэр *454*

Вазопрессин *18*
Вакценовая кислота *142*
– – *транс*-изомер *142*
– – *цис*-изомер *142*
н-Валериановая кислота *40*
Валин *18, 341, 389*
Валиномицин *247, 250*
Ваиилин *394, 402, 409, 410, 421*
Варбурга и *Кристиана* методика *464*
Ватманы *434, 436*
Вегализен *286*
Вердогем *177*
Веронал *283*
Веронал натрия *362*
Верошпирон *262*
Версен *339*
Вещество B (по *Кендаллу*) *168*
Вещество E (по *Кендаллу*) *168*
Вещество F (по *Кендаллу*) *168*
Виатта раствор (чешуекрылые) *374*
Видарабин *213*
Винбластин *215*
Винбластинсульфат *215*
Винилмуравьиная кислота *38*
2-Винил-1,3,5,8-тетраметил-4,6,7-три(2′-карбокси)этилпорфин *187*
Винкристин *215*
Винная кислота *40, 342, 352, 371, 383, 453*
– – обыкновенная *40*
– – соли K, Na, NH_4 *40, 41*
мезо-Винная кислота *40, 265*
D(+)-Винная кислота *265*
D(–)-Винная кислота *265*
d-Винная кислота *265*
DL-Винная кислота *40*
L(+)-Винная кислота *265*
Виннокислый калий-натрий *41*
Винный камень *41*
– – неочищенный *41*
– – растворимый *41*
Виноградная кислота *40*
Виолаксантин *198*
Висмутиодид калия *424*
Витамин A *422*
– – эфиры *422*
Витамин A_1 *114*
– – альдегидная форма *114*
– – кислотная форма *114*
Витамин A_2 *103*
– – альдегидная форма *103*
Витамин $B_1 \cdot HCl$ *116*
Витамин B_2 *115*
Витамин $B_6 \cdot HCl$ *112*
Витамин B_{12} *121*
Витамин B_{12a} *102*
Витамин B_{12b} *102*
Витамин B_{12r} *121*
Витамин B_{12s} *121*
Витамин BT *26*
Витамин C *99*
– – окисленная форма *103*
Витамин D *422*
Витамин D_2 *122*
Витамин D_3 *120*

Витамин E *117, 423*
Витамин H *101*
Витамин K *423*
Витамин K_1 *118*
Витамин K_2 (30, 35) *107*
Витамин K_3 *296*
Витамин PP *110*
Вода морская искусственная *375*
Вольфрамовая кислота *472*

D-Галактаровая кислота *127*
Галактит *128*
Галактитол *128*
Галактоглицериды *143*
Галактоза *396*
D-Галактоза *128*
D-Галактозамингидрохлорид *128*
α-D-Галактозил-*p*-(1→6)-α-D-галактозил-*p*-(1→6)-α-D-глюкозил-*p*-(1→2)-β-D-фруктозид *f* *138*
Галактозилглицериновые эфиры *143*
α-D-Галактозил-*p*-(1→6)-α-D-глюкозил-*p*-(1→2)-β-D-фруктозид *f* *137*
6^{Gal}-α-Галактозилраффиноза *138*
6^{Gal}-α-Галактозилсахароза *137*
α-D-Галактозо-1-фосфат *57, 140*
D-Галактозо-6-фосфат *57*
D-Галактометилоза *134*
L-Галактометилоза *134*
D-Галактоновая кислота *128*
α-D-Галактопиранозил-1,6-β-D-галактопиранозил-1-глицерина 2,3-диациловый эфир *143*
4-O-β-D-Галактопиранозил-D-глюкопираноза *137*
6-O-β-D-Галактопиранозил-D-глюкопираноза *135*
6-O-α-D-Галактопиранозил-D-глюкопираноза *137*
Галактуроновая кислота *396*
D-Галактуроновая кислота *128*
UDP-Галактуроновая кислота *140*
Галегиисульфат *258*
ГАМК *14*
Гаммексан *265*
Гаиглиозиды *143*
Гваякол *294*
Гезаприм *252*
1,1′,6,6′,7,7′-Гексагидрокси-3,3′-диметил-5,5′-диизопропил-(2,2′-динафталин)-8,8′-дикарбоксальдегид *254*
7,8,12′,11′,8′,7′-Гексагидроликопин *195*
Гексагидроуропорфирин *186*
Гексадекадиен-6,9-овой кислоты метиловый эфир *157*
Гексадекадиен-9,12-овой кислоты метиловый эфир *157*
транс-Гексадецен-9-овой кислоты метиловый эфир *157*
цис-Гексадецен-9-овой кислоты метиловый эфир *157*
Гексадеканаль *148*
н-Гексадекановая кислота *148*
– – метиловый эфир *157*
1-Гексадеканол *155*
Гексадекатетраен-6,9,12,15-овой кислоты метиловый эфир *157*
Гексадекатриен-6,9,12-овой кислоты метиловый эфир *157*
9-Гексадеценовая кислота *149*
8-Гексадеценовой кислоты метиловый эфир *157*
1-Гексадецилпиридинийхлорид *235*
цис,цис-2,4-Гексадиендиовая кислота *48*
L-*трео*-2,3-Гексадиулозоновая кислота *130*
1-Гексакозанол *155*
Гексаметиленбис(триметиламмоний) *286*
Гексаметилендиамин *353*
Гексаметонбромид *286*

Гексаметоний *286*
Гексаметонхлорид *286*
Гексаминкобальтихлорид *243*
Гексанатрий-*симм*-бис(*м*-аминобензоил-*м*-амино-*п*-метилбензоил-1-нафтил-амино-4,6,8-трисульфонат)карб-амид *276*
Гександиовая кислота *38*
Гексановая кислота *41*
- - метиловый эфир *157*
Гексахлоран *265*
γ-Гексахлороциклогексан *265*
Гексил-GSH *451*
Гексилрезорцин *385*
Гексозодифосфат *69*
Гем *188*
Гем *Spirographis* *190*
Гем *a* *188*
Гематин *188*
- восстановленный *188*
- щелочной *188*
Гематины *177*
Гематопорфироидин *Шумма* *185*
Гем зеленый эритроцитный *190*
Гемин *189*
Гемины *177*
Гемолиз *418*
Гемы *177*
Гентиобиоза *135*
Гепарин, Na-соль *284*
Гепарин, α-форма *284*
- β-форма *284*
Гептадекановая кислота *143*
- - метиловый эфир *157*
Гептадекоевая кислота *143*
н-Гептадеценовой кислоты метиловый эфир *157*
Гептадециловая кислота *143*
Гептаметилен-1,7-дикарбоновая кислота *142*
Гептандикарбоновая-1,7 кислота *142*
Гептандиовая кислота *49*
н-Гептановой кислоты метиловый эфир *157*
2-*н*-Гептил-4-гидроксихинолин-N-оксид *252, 253, 256*
Геранилдифосфат *57*
Геранилпирофосфат *57*
Германин *276*
Героин *287*
Гестанон *165*
Гея растворы *374*
Гиалобиуроновая кислота *136*
Гиамина гидроксид *460*
Гибберелловая кислота *202*
Гиббса реагент *424*
Гидантоины *394*
Гидридокобаламин *121*
α-Гидро-ω-гидроксиполи(окси-1,2-этандиол) *318*
Гидрокортизон *168*
Гидроксамовая реакция *416*
Гидроксамовые кислоты *253*
β-Гидроксиаланин *31*
2-Гидрокси-6-аминопурин *80*
5-Гидрокси-3-(2-аминоэтил)индол *20*
Гидроксиаммония хлорид *253*
3α-Гидрокси-5α-андростан-17-он *160*
3α-Гидрокси-5α-андростанон-17 *160*
3α-Гидрокси-5β-андростан-17-он *161*
3α-Гидрокси-5β-андростанон-17 *161*
3β-Гидрокси-5α-андростан-17-он *161*
3β-Гидрокси-5α-андростанон-17 *161*
17β-Гидрокси-5α-андростан-3-он *160*
17β-Гидрокси-5α-андростанон-3 *160*
4-Гидроксиандростендион-3,17 *262*
3β-Гидроксиандростен-5-он-17 *160*
3β-Гидрокси-5-андростен-17-он *160*
17β-Гидроксиандростен-4-он-3 *161*
17β-Гидрокси-4-андростен-3-он *161*
о-Гидроксианизол *294*
3-Гидроксиантраниловая кислота *18*

3-(3-Гидроксиантранилоил)аланин *19*
Гидроксиапатит *463*
Гидроксиацетальдегид *42*
17-Гидрокси-7-ацеттиоокси-21-карбокси-17α-прегнен-4-она-3 γ-лактон *262*
о-Гидроксибензальдегидоксим *336*
4-Гидроксибензойная кислота *41*
о-Гидроксибензойная кислота *338*
п-Гидроксибензойная кислота *41*
2-Гидроксибутандиовая кислота *54*
3-Гидроксибутановая кислота *41*
3-Гидроксибутанон-2 *39*
25-Гидроксивитамин D_1 *102*
5-Гидроксигетероауксин *19*
α-Гидроксигидрокоричная кислота *51*
17β-Гидрокси-2-(гидроксиметилен)-17α-метил-5α-андростанон-3 *162*
17-Гидрокси-11-дегидрокортикостерон *168*
О-(4-Гидрокси-3,5-дииодофенил)-3,5-дниодотнрозин *33*
Гидроксид кальция *371*
Гидроксид натрия *369, 371*
N^6-(*цис*-4-Гидроксиизопентенил)аденин *204*
5-Гидроксииндолуксусная кислота *19*
5-Гидрокси-1Н-индол-3-уксусная кислота *19*
β-(4-Гидрокси-3-иодофенил)аланин *25*
О-(4-Гидрокси-3-иодофенил)-3,5-диодо-L-тирозин *33*
3-Гидрокси-β-каротин *197*
3-Гидроксикинуренин *19*
Гидроксикобаламин, щелочной раствор *102*
17-Гидроксикортикостерон *168*
Гидроксиламин *266, 384, 403, 406*
- щелочной раствор *406*
Гидроксиламингидрохлорид *253*
Гидроксилапатит *463*
5-Гидроксилизин *19*
5-Гидрокси-L-лизин *19*
алло-5-Гидрокси-L-лизин *19*
трео-5-Гидрокси-L_s-лизин *19*
эритро-5-Гидрокси-L_s-лизин *19*
δ-Гидроксилизин *19*
Гидроксималеиновая кислота *53*
3-Гидроксимасляная кислота *41*
- - соль Na *41*
β-Гидроксимасляная кислота *41*
п-Гидроксимеркуриобензойная кислота, Na-соль *266, 453*
4-[1-Гидрокси-2-(метиламино)этил]-1,2-бензднол *12*
17β-Гидрокси-1β-метил-5α-андростен-1-он-3 *161*
17β-Гидрокси-1β-метил-5α-андрост-1-ен-3-он *161*
17β-Гидрокси-7α-метиландростен-5-он-3 *262*
6-(4-Гидрокси-3-метил)-*транс*-бутен-2-иламинопурин *204*
6-(4-Гидрокси-3-метил-*транс*-бутен-2-иламино)-9-β-D-рибофуранозилпурин *204*
3-Гидрокси-3-метилглутаровая кислота *41*
β-Гидрокси-β-метилглутаровая кислота *41*
5-Гидроксиметил-2′-дезоксиуридин *95*
5-Гидроксиметил-2′-дезоксиуридин-5′-фосфат *95*
5-Гидроксиметилдезоксицитидин *75*
5-Гидроксиметил-2′-дезоксицитидин *97*
5′-Гидроксиметил-2′-дезоксицитидин-3′-фосфат *75*
5-Гидроксиметил-2′-дезоксицитидин-5′-фосфат *75, 97*
3-Гидрокси-8-метилдекановая кислота *249*
5(4)-Гидроксиметилимидазол *352*

17-Гидрокси-6α-метилпрегнен-4-дион-3,20 *166*
5-Гидроксиметилурацил *95*
5-Гидроксиметилцитозин *76, 97*
5-Гидроксиметилцитозиндезоксирибозид *75*
5-Гидроксиметилцитозиндезоксирибозо-3′-фосфат *75*
5-Гидроксиметилцитозии-2′-дезоксирибозо-5′-фосфат *75*
17β-Гидрокси-17α-метилэстра-4,9,11-триен-3-он *172*
Гидроксимочевина *215*
N-Гидроксимочевина *215*
1-(1-Гидрокси-2-нафтилазо)-2-гидрокси-5-нитронафталин-4-сульфоновая кислота *339*
2-Гидрокси-5-нитробензилбромид *321*
эритро-9-(2-Гидрокси-3-нонил)аденин *219*
17β-Гидрокси-19-нор-17α-прегнен-4-ин-20-он-3 *167*
3β-Гидрокси-20-оксопрегнен-5-карбонитрил-16α *172*
3β-Гидрокси-20-оксо-5-прегнен-16α-карбонитрил *172*
2-Гидрокси-3-оксопропановая кислота *51*
3-Гидрокси-2-оксопропионовая кислота *42*
15(S)-Гидрокси-9-оксо-10,13-*транс*-простадиеновая кислота *290*
15(S)-Гидрокси-9-оксо-5-*цис*,10,13-*транс*-простатриеновая кислота *290*
2-Гидроксиоктадекановая кислота *143*
10-Гидроксиоктадекановая кислота *144*
12-Гидрокси-*цис*-9-октадеценовая кислота *150*
Гидроксипировиноградная кислота *42*
- - соль Li *42*
4-Гидрокси-2-пирролидинкарбоновая кислота *20*
17-Гидроксипрегнеи-4-дион-3,20 *164*
17-Гидроксипрегн-4-ен-3,20-дион *164*
3β-Гидрокси-5-прегнен-20-он *165*
20α-Гидрокси-4-прегнен-3-он *164*
20β-Гидроксипрегнен-4-он-3 *165*
20β-Гидрокси-4-прегнен-3-он *165*
17α-Гидроксипрогестерон *164*
- ацетат *164*
- капроат *164*
20α-Гидроксипрогестерон *164*
20β-Гидроксипрогестерон *165*
21-Гидроксипрогестерон *168*
Гидроксипролин *353, 389, 394*
4-Гидроксипролин *20*
4-Гидрокси-L-пролин *20*
алло-4-Гидрокси-L-пролин *20*
транс-4-Гидрокси-L-пролин *20*
трео-4-Гидрокси-L_S-пролин *20*
цис-4-Гидрокси-L-пролин *20*
эритро-4-Гидрокси-L_S-пролин *20*
1-Гидроксипропан-1,2,3-трикарбоновая кислота *44*
2-Гидроксипропан-1,2,3-трикарбоновая кислота *46*
2-Гидроксипропионовая кислота *47*
6-Гидроксипурин *76*
2-Гидроксистеариновая кислота *143*
10-Гидроксистеариновая кислота *144*
α-Гидроксистеариновая кислота *143*
N-Гидроксисукцинимид *447*
3-Гидрокситирамин *24*
3-Гидрокси-L-тирозин *23*
5-(1-Гидрокси-2,6,6-триметил-4-оксоциклогексен-2-ил-1)-3-метилпентадиен-2,4-овая кислота *201*
5-Гидрокситриптамин *20, 451*
- гидрат креатинсульфата *20*
DL-5-Гидрокситриптофан *20*
Гидроксиуксусная кислота *42*
5-Гидроксиурацил *95*
Гидроксифенилазонафтилцеллюлоза *436*

3-(4-Гидроксифенил)аланин *32*
N-(*n*-Гидроксифенил)-2,6-дихлоро-*n*-бензохиноиимин *294*
n-Гидроксифеиилмолочиая кислота *42, 50*
n-Гидроксифенилпировиноградная кислота *42*
4-Гидроксифеиэтиламин *32*
Гидроксиферрипротопорфирин *188*
1-Гидрокси-3-(фосфоноокси)пропан-он-2 *61*
Гидроксифумаровая кислота *53*
4-Гидроксихинальдиновая кислота *26*
8-Гидроксихинолин *336, 393*
4-Гидроксихинолин-2-карбоновая кислота *26*
8-Гидроксихинолии-5-сульфоновая кислота *336*
3α-Гидроксихолановая кислота *173*
25-Гидроксихолекальциферол *102*
17β-Гидроксиэстрен-4-он-3 *162*
17β-Гидроксиэстр-4-еи-3-он *162*
Гидроксиэтаналь *42*
Гидроксиэтановая кислота *42*
α-Гидроксиэтил-ТРР *102*
2-Гидроксиэтиламин *37*
N-(2′-Гидроксиэтил)иминодиуксусная кислота *336*
N-2-Гидроксиэтилпиперазин-N′-3-пропансульфоновая кислота *352, 364*
N-2-Гидроксиэтилпиперазин-N′-этансульфоновая кислота *363*
N-2-Гидроксиэтилпиперазин-N′-2-этансульфоновая кислота *352*
α-Гидроксиэтил-2-тиаминпирофосфат *102*
Гидроксиэтилтиаминпирофосфат *102*
(2-Гидроксиэтил)триметиламмонийгидроксид *35*
N-(2-Гидроксиэтил)-N,N,N-триметиламмонийгидроксид *35*
Гидроксиянтарная кислота *54*
Гидросульфит натрия *298*
Гидрохинон *294*
Гидрохинон-β-D-глюкозид *308*
DL-Гиосциамин *283*
Гиперин *382*
Гипертензин *15*
Гипоксаитии *76, 91, 343*
Гипоксантинрибозид *76*
Гипоксаитиирибозил-5′-дифосфат *76*
Гипоксаитинрибозилтрифосфат *76*
Гипоксантинрибозил-5′-фосфат *77*
Гипотаурин *20*
Гипохлорит натрия *384*
Гиппурил-L-аргинин *305*
Гиппурил-L-фенилаланин *305*
Гиппуровая кислота *21*
Гистамин *21, 341*
Гистидин *21, 341, 352, 389, 392*
Гистидинолдигидрохлорид *21*
L-Гистидинолфосфат *58*
Гликогеновая кислота *129*
Гликодезоксихолат *172*
Гликокол *21*
Гликолевая кислота *42*
Гликолейцин *30*
N-Гликолилнейраминовая кислота *127*
Гликоль *54*
Гликольальдегид *42*
Гликосфингозиды *155*
Гликохолевая кислота *172*
Гликоциамин *21*
Глиоксалин *269, 360*
Глиоксаль *42, 378*
Глиоксиловая кислота *42*
– – соль Na *43*
Глифозат *202*
Глифозин *202*
Глицеральдегид *43*
D-Глицеральдегид-3-фосфат *58*
Глицерилтриацетат *315*
Глицерилтрибутират *315*
1-(α-Глицерилфосфорил)-L-миоинозит *58*

Глицерин *43*
- цитидинфосфатное производное *43*
CDP-Глицерин *43*
Глицериновая кислота *43*
- - соль Ca *43*
D-Глицериновая кислота-1,3-дифосфат *61*
D-Глицериновая кислота-2,3-дифосфат *61*
D-Глицеринового альдегида 3-фосфат *58*
α-Глицериновые эфиры *144*
Глицериновый альдегид *43*
Глицерин-2-фосфорная кислота *352*
(D-Глицероилфосфат)-3-фосфат *61*
Глицероинозитфосфат *58*
Глицеролфосфат *313*
Глицерол-2-фосфат *58*
D-Глицерол-1-фосфат *58*
L-Глицерол-3-фосфат *58*
sn-Глицерол-3-фосфат *58*
Глицеронфосфат *61*
1-(*sn*-Глицерофосфо)-L-миоинозит *58*
Глицерофосфорилинозит *58*
Глицерофосфорилсерин *58*
L-α-Глицерофосфорилхолин *59*
L-α-Глицерофосфорилэтаноламии *59*
α-Глицерофосфорная кислота *58*
β-Глицерофосфорная кислота *58*
Глицерофосфосерин *149*
sn-Глицерофосфосерин *58*
Глицерофосфохолин *149*
sn-Глицерофосфохолин *59*
Глицерофосфоэтаноламин *149*
sn-Глицерофосфоэтаноламин *59*
Глицерохолинфосфат *59*
Глицилглицилглицин *305*
Глицилглицин *305, 341, 352, 353*
Глицил-L-пролин *306*
Глицил-L-тирозинамидацетат *306*
Глицил-L-фенилаланинамидацетат *306*
Глицин *21, 341, 352, 353, 354, 366, 369, 389, 393*
Глициибетаин *17*
L-γ-Глутамил-L-цистеинилглицин *22*
Глутамин *389*
L-Глутамин *22*
Глутаминовая кислота *21, 341, 389*
Глутаровая кислота *44*
Глутаровый альдегид *322*
Глутатион *319*
L-Глутатион восстановленный *22*
- окисленный *22*
D-Глюкаровая кислота *129*
D-Глюкаролактон-1,4 *275*
D-2-Глюкодезоза *134*
Глюкоза *396*
ADP-Глюкоза *140*
D-Глюкоза *129*
(d)TDP-Глюкоза *140*
GDP-Глюкоза *140*
UDP-Глюкоза *139, 140*
UDP-α-D-Глюкоза *139*
D-Глюкозамин *129*
D-Глюкозамин-6-фосфат *59*
Глюкозо-1,6-бифосфат *59*
Глюкозо-1,6-дифосфат *59*
D-Глюкозоновая кислота *130*
Глюкозо-1-фосфат *343*
α-D-Глюкозо-1-фосфат *59, 140*
Глюкозо-6-фосфат *343*
D-Глюкозо-6-фосфат *60*
Глюкозо-1,2-циклофосфат *139, 140*
D-Глюкометилоза *134*
Глюконовая кислота *342*
D-Глюконовая кислота *129*
D-Глюконовая кислота-6-фосфат *67*
6-O-α-D-Глюкопиранозил-D-глюкоза *136*
4-O-α-D-Глюкопиранозил-D-глюкопиранноза *137*
4-O-β-D-Глюкопиранозил-D-глюкопиранноза *138*
6-O-β-D-Глюкопиранозил-D-глюкопиранноза *135*

1-О-α-D-Глюкопиранозил-α-D-глюкопиранозид *138*
1-О-α-D-Глюкопиранозил-β-D-фруктофураиозид *138*
Глюкуроновая кислота *396*
D-Глюкуроновая кислота *130*
UDP-Глюкуроновая кислота *140, 141, 451*
Глюкуроновая кислота-1-фосфат *141*
Глюцит *133*
D-Глюцитол *133*
Гомоаргинин *328*
Гомогентизиновая кислота *44*
Гомопролин *30*
Гомосерин *22*
L-Гомосеринфосфат *60*
Гомоцистеии *22*
Гомоцистин *23*
Горналла, Бардавилла и *Дэвида* методика *465*
Горчичный газ *216*
Госсипол *254*
Грамицидин А *248*
Грамицидин В *248*
Грамицидин С *248*
Грамицидин S *248*
Грамицидины линейные *248*
Грей *454*
Гуаназол *210*
Гуанидин·HCl *239*
δ-Гуанидинвалериановая кислота *266*
Гуанидингидрохлорид *266*
Гуанидиния хлорид *266*
Гуаииднны *393*
Гуанидоуксусная кислота *21*
1-Гуанил-3,5-диметилпиразол *328*
Гуанилилимидодифосфат *216*
Гуанилил(β,γ-метилен)дифосфоиат *216*
2′-Гуаниловая кислота *78*
3′-Гуаниловая кислота *79*
5′-Гуаниловая кислота *79*
N^1-Гуанилсульфаниламид *275*
Гуанин *77, 91*
Гуаниидезоксирибоза-5′-трифосфат *80*
Гуаниндезоксирибозид *80*
Гуаниндезоксирибозо-3′-фосфат *80*
Гуаниндезоксирибозо-5′-фосфат *80*
Гуанозин *77, 92, 343*
Гуанозин-5′-дифосфат *78, 92*
Гуанозин-5′-дифосфат-3′-дифосфат *78*
Гуанозин-5′-дифосфо-α-D-глюкопираноза *140*
Гуанозин-5′-дифосфо-α-D-маннопираноза *140*
Гуанозин-5′-дифосфо-β-L-фукоза *140*
Гуанозин-5′-(β,γ-имидо)трифосфат *216*
Гуанозин-5′-(β,γ-метилен)трифосфат *216*
Гуанозинтетрафосфат *78*
Гуанозин-5′-О-(3-тиотрифосфат) *216*
Гуанозии-5′-трифосфат *78, 92*
Гуанозин-5′-трифосфат-3′-дифосфат *78*
Гуанозин-2′-фосфат *78*
Гуанозин-3′-фосфат *79, 92*
Гуанозин-5′-фосфат *79, 92*
Гуанозин-2′,3′-циклофосфат *79*
Гуанозин-3′,5′-циклофосфат *79*
- дибутирильное производное *79*
γ-ГХЦГ *265*

Даминозид *201*
Даназол *171*
"Дансил"-аминокислоты *394*
Дансилхлорид *322*
Датуровая кислота *143*
Дауномицин *217*
Даунорубицин *217*
Дауэксы *428-430*
ДБМИБ *254*
ДГФК *105*
Дегидроандростерон *160*
транс-Дегидроандростерон *160*
Дегидроаскорбиновая кислота *103, 130*
Дегидро-L-аскорбиновая кислота *103*

Дегидробилирубин *179*
Дегидроизоандростерон *160*
3-Дегидроретиналь, полный *транс*-изомер *103*
3-Дегидроретинальдегид *103*
3-Дегидроретинол, полный *транс*-изомер *103*
6-Дегидротестостерон *262*
7-Дегидрохолестерин *103*
Дегидроэпиандростерон *160*
3′-Дезоксиадениловая кислота *75*
5′-Дезоксиадениловая кислота *75*
5′-Дезоксиаденозилкобаламии *106*
2′-Дезоксиаденозин *74, 90*
3′-Дезоксиаденозин *219*
S-(5′-Дезоксиаденозин-5′)гомоцистеин *11*
S-(5′-Дезоксиаденозин-5′)метионин *12*
2′-Дезоксиаденозин-5′-трифосфат *74, 90*
2′-Дезоксиаденозин-3′-фосфат *75, 90*
2′-Дезоксиаденозин-5′-фосфат *75, 90*
2-Дезокси-D-арабиногексоза *134*
6-Дезокси-D-галактоза *134*
6-Дезокси-L-галактоза *134*
Дезоксиглюкоза *396*
2-Дезокси-D-глюкоза *134*
6-Дезокси-D-глюкоза *134*
3′-Дезоксигуаниловая кислота *80*
5′-Дезоксигуаниловая кислота *80*
2′-Дезоксигуанозин *80, 92*
2′-Дезоксигуанозин-5′-трифосфат *80, 92*
2′-Дезоксигуанозин-3′-фосфат *80, 92*
2′-Дезоксигуанозин-5′-фосфат *80, 93*
2′-Дезоксиинозин-5′-трифосфат *91*
2′-Дезоксиинозин-5′-фосфат *91*
3-Дезокси-2-кето-7-фосфо-D-арабиногептулозоновая кислота *61*
Дезоксикортикостерон *168*
6-Дезокси-L-манноза *134*
2-Дезокси-D-*эритро*-пентоза *125*
2-Дезокси-D-*эритро*-пентозо-1-фосфат *60*
2-Дезокси-D-*эритро*-пентозо-5-фосфат *60*
4-Дезоксипиридоксин *267*
2-Дезокси-D-рибоза *125*
Дезоксирибоза *396*
2-Дезоксирибозо-1-фосфат *60*
2-Дезоксирибозо-5-фосфат *60*
9-β-D-2′-Дезоксирибофуранозиладенин *74*
9-β-D-2′-Дезоксирибофуранозилгуанин *80*
3-β-D-2′-Дезоксирибофуранозил-5-метилцитозин *81*
3-β-D-2′-Дезоксирибофуранозилтимин *82*
3-β-D-2′-Дезоксирибофуранозилцитозин *85*
2′-Дезокситимидин *82, 94*
2′-Дезокситимидин-5′-трифосфат *83, 94*
2′-Дезокситимидин-3′-фосфат *83, 94*
2′-Дезокситимидин-5′-фосфат *83, 94*
2′-Дезоксиуридин *95*
2′-Дезоксиуридин-5′-трифосфат *95*
2′-Дезоксиуридин-5′-фосфат *95*
3-Дезокси-7-фосфо-D-арабиногептулозоновая кислота *61*
3-Дезокси-6-фосфо-2-D-*эритро*-гексулозоновая кислота *62*
Дезоксихолевая кислота *173, 452*
– – Na-соль *234*
3′-Дезоксицитидиловая кислота *85*
2′-Дезоксицитидин *85, 97*
2′-Дезоксицитидин-5′-трифосфат *85, 97*
2′-Дезоксицитидин-3′-фосфат *85, 97*
2′-Дезоксицитидин-5′-фосфат *85, 97*
Дезтиобиотин *267*
Дезферриоксамин B *267*
Дезферриоксаминмезилат *267*
Дейтерогемохром *177*
Дейтеропорфирин 9 *182*
Декаметиленбис(триметиламмоний)бромид *286*
Декаметоний *286*
н-Декановая кислота *145*
– – метиловый эфир *157*

Дексаметазон *169*
Дексамфетамин *282*
Декстроза *129*
Декстроновая кислота *129*
Дефероксамин *267*
О-Диазоацетил-L-серин *210*
Диазобензолсульфокислота *323*
1,2-Диазол *272*
1,3-Диазол *269*
Диазоний-1Н-тетразол *323*
6-Диазо-5-оксо-L-норлейцин *217*
Диазотирования реакция *416, 423*
Диазоурацил *401*
1,8-Диамино-4-азаоктан *32*
3,6-Диаминоакридин *222*
1,4-Диаминобензол *304*
1,4-Диаминобутан *31*
2,4-Диаминобутановая кислота *23*
2,6-Диаминогексановая кислота *28*
2,6-Диаминогептандиовая кислота *23*
α,ε-Диаминогептановая кислота *228*
2,6-Диамино-5-гидроксигексановая кислота *19*
α,2-Диамино-3-гидрокси-γ-оксобензолбутановая кислота *19*
1,12-Диамино-4,9-диазадодекан *32*
2,2′-Диаминодиэтилдисульфид *35*
Диаминодурол *294*
2,4-Диаминомасляная кислота *23, 249*
α,2-Диамино-γ-оксобензолбутановая кислота *26*
1,5-Диаминопентан *25*
2,5-Диаминопентановая кислота *30*
Диаминопимелиновая кислота *23*
2,6-Диаминопурин *217*
2,4-Диамино-5-*n*-хлорофенил-6-этилпиримидин *222*
транс-1,2-Диаминоциклогексантетрауксусная кислота *337*
1,2-Диаминоэтан *339*
2,7-Диамино-10-этил-9-фенилфенантридиийбромид *226*
Диамокс *264*
о-Дианизидин диазотированный *423*
Дианизолбисдифенилтетразолия хлорид *417*
Дианмицин *249*
Диатризоевая кислота, 1-дезокси-1-(метиламино)-D-глюцитовая (метилглюкаминовая) соль *471*
– – Na-соль *471*
Диацетил *44, 321, 393*
Диацетилморфин *287*
N,N′-Диацетилхитобиоза *136*
1,2-Диацил-*sn*-глицерин *145*
Диацилглицерин *145*
1,2-Диацил-*sn*-глицеро-3-фосфат *154*
1,2-Диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-1′-*sn*-глицерин *152*
1,2-Диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-1-миоинозит *152*
1,2-Диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-1-миоинозит-4,5-дифосфат *151*
1,2-Диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-О-серин *153*
1,2-Диацил-*sn*-глицеро-3-фосфо-О-этаноламин *154*
1,2-Диацил-*sn*-глицеро-3-фосфорил-L-1-миоинозит-4-фосфат *145*
1,2-Диацил-*sn*-глицеро-3-фосфохолин *153*
1,1′-Дибензил-4,4′-дипиридилийдихлорид *293*
Дибензилин *291*
Дибенилин *291*
2,5-Дибромо-3-метил-6-изопропил-*n*-бензохинон *254*
Дибромотимохинон *254*
2,6-Дибромохинон-4-хлороимид *381, 409*
3,5-Ди-*трет*-бутил-4-гидроксибензилиденмалононитрил *255*
Ди-*трет*-бутил-4-гидрокситолуол *459*

Дибутиральное производное cAMP *74*
N^6,O^2-Дибутириладенозин-3′,5′-циклофосфат *74*
N^2-2′-O-Дибутирилгуанозин-3′,5′-циклофосфат *79*
Дигалактозилглицерин *143*
Дигалактозилдиглицерид *143*
Дигидрогиднокарповой кислоты метиловый эфир *157*
3,7-Дигидро-1,3-диметил-1H-пурин-дион-2,6 *276*
3,7-Дигидро-1,3-диметил-1H-пуриндиона-2,6 соединение с 1,2-диаминоэтанолом *264*
Дигидродифосфопиридиннуклеотид *104*
Дигидрокатехол *332*
эритро-1,3-Дигидрокси-2-аминооктадекан *144*
транс-D-*эритро*-1,3-Дигидрокси-2-аминооктадецен-4 *151*
Дигидроксиацетон *44*
Дигидроксиацетонфосфат *61*
N-2-Дигидроксибензамид *253*
3,4-Дигидроксибензойная кислота *50*
1,2-Дигидроксибензол *45*
4,5-Дигидроксибензол-1,3-дисульфокислота *337*
L_g-*трео*-Дигидроксибутандиовая кислота *40*
эритро-Дигидроксибутандиовая кислота *40*
1,25-Дигидроксивитамин D_3 *171*
1α,25-Дигидроксивитамин D_3 *104*
11β,21-Дигидрокси-3,20-диоксопрегиен-4-аль-18 *167*
трео-2,3-Дигидрокси-1,4-димеркаптобутан *317*
эритро-2,3-Дигидрокси-1,4-димеркаптобутан *317*
D(+)-N-(α,γ-Дигидрокси-β,β-диметнлбутирил)-β-аланин *111*
транс-4,4′-Дигидрокси-α,β-диэтилстильбен *163, 256*
3,3′-Дигидрокси-α-каротин *197*
3,3′-Дигидрокси-β-каротин *197*
Ди-(4-гидроксикумаринил-3)метан *254, 284*
3,5-Дигидрокси-3-метилпентановая кислота *47*
1,8-Дигидроксинафталин-3,6-дисульфокислота *337*
11α-15(S)-Дигидрокси-9-оксо-13-*транс*-простеновая кислота *289*
11α-15(S)-Дигидрокси-9-оксо-5-*цис*,13-*транс*-простадиеновая кислота *289*
2,4-Дигидроксипиримидин *84*
17α,21-Дигидрокси-1,4-прегнадиен-3,11,20-трион *170*
2,3-Дигидроксипропаналь *43*
1,3-Дигидроксипропанон *44*
1,3-Дигидроксипропанонфосфат *61*
6-(L-*эритро*-1,2-Дигидроксипропил)птерин *101*
2,3-Дигидроксипропионовая кислота *43*
3,6-Дигидроксипсевдокумол *301*
1,4-Дигидрокси-2,3,5-триметилбензол *301*
DL-3,4-Дигидроксифенилаланин *23*
L-3,4-Дигидроксифенилаланин *23*
3-(3,4-Дигидроксифенил)-L-аланин *23*
1-(3,4-Дигидроксифенил)-2-аминоэтанол *29*
транс-3,4-Ди(*п*-гидроксифенил)гексен-3 *256*
1-(3,4-Дигидроксифенил)-2-метиламиноэтанол *12*
2,5-Дигидроксифенилуксусная кислота *44*
3,4-Дигидроксифенэтиламин *24*
3α,7α-Дигидроксихолановая кислота *173*
3α,12α-Дигидроксихолановая кислота *173*
1,25-Дигидроксихолекальциферол *171*

1α,25-Дигидроксихолекальциферол *104*
Дигидроксиэстратриен *163*
Дигидроксиэстрин *163*
2,3-Дигидроксиянтарная кислота *40*
Дигидроникотинамидадениндинуклеотид *104*
– – Na_2-соль *104*
Дигидроникотинамидадениндинуклеотидфосфат *104*
– – Na_4-соль *105*
1,2-Дигидро-3,6-пиридазиндион *205*
20α-Дигидропрогестерон *164*
20β-Дигидропрогестерон *165*
Дигидроптероилглутаминовая кислота *105*
7,8-Дигидроптероилглутаминовая кислота *105*
22-Дигидростигмастерин *150*
Дигидросфингозин *144, 155*
Дигидротеелин *163*
алло-Дигидротестостерон *160*
5α-Дигидротестостерон *160*
Дигидротрифосфопиридиннуклеотид *104*
5,6-Дигидроуридин *95*
Дигидрофолиевая кислота *105*
Дигидрохаульмугровой кислоты метиловый эфир *158*
Дигидрохолестерин *144*
Дигидро-β-эритроидин *284*
– гидробромид *284*
Дигитонин *171*
Диглицерид *145*
CDP-Диглицерид *155*
Диглицилглицин *305*
Диглицин *305*
3,4-Дидегидроретиналь *103*
3,4-Дидегидроретинол *103*
2′,3′-Дидезоксиаденозин-5′-трифосфат *218*
2′,3′-Дидезоксигуанозин-5′-трифосфат *218*
2′,3′-Дидезоксирибонуклеозид-5′-трифосфаты *218*
2′,3′-Дидезокситимидин-5′-трифосфат *218*
2′,3′-Дидезоксицитидин-5′-трифосфат *218*
ди-(*n*-Диметиланилин)метан *403*
Дидрогестерон *166*
Диенэстрол *163*
(*n*-Диизобутилкрезолоксиэтоксиэтил)диметилбензиламмония гидроксид *460*
Диизопропилфторофосфат *267*
Диизопропилфторофосфонат *267*
4,4′-Диизотиоциано-2,2′-стильбендисульфонат *242*
3,5-Дииодо-4-гидроксифенилаланин *24*
3,5-Дииодотирозин *24*
Дикват *203*
2,3-Дикето-L-гулоновая кислота *130*
– – γ-лактон *130*
2,5-Дикетотетрагидрофуран *333*
Дикумарин *254, 284*
Дикумарол *254, 284*
Димеркапрол *316, 337*
2,3-Димеркаптопропанол-1 *316, 337*
N^6,N^6-Диметиладенин *89*
N^6,N^6-Диметиладенозин *90*
Диметиладипимидат *320*
N^6-(γ,γ-Диметилаллил)аденин *204*
Диметилаллилдифосфат *61*
Диметилаллилпирофосфат *61*
2,5(4)-Диметиламидазол *353*
Диметиламин *24, 353*
n-Диметиламинобензальдегид *386, 403, 404, 409, 412, 421*
n-Диметиламинокоричный альдегид *386*
N,N-Диметиламинометан *33*
N,N-Диметиламинометана N-оксид *33*
5-Диметиламинонафталин-1-сульфонилхлорид *322*

10-(γ-Диметиламинопропил)-2-хлорофенотиазингидрохлорид *292*
м-Диметиламинофенилметилкарбаматгидрохлорид *268*
N,N-Диметил-2-амино-этанол *268*
1-(*п*-β-Диметиламиноэтоксифенил)-*транс*-1,2-дифенилбутен-1 *263*
α-(5,6-Диметилбензимидазол)-5′-дезоксиаденозилкобамид *106*
α-(5,6-Диметилбензимидазолил)гидроксикобамид *102*
α-(5,6-Диметилбензимидазолил)кобамидный кофермент *106*
α-(5,6-Диметилбензимидазолил)метилкобамид *109*
α-(5,6-Диметилбензимидазолил)цианокобамид *121*
2,5-Диметилбензохинон *294*
2,6-Диметилбензохинон *294*
2,2-Диметилгидразид янтарной кислоты *201*
2,4-Диметил-3-гидрокси-5-гидроксиметилпиридин *267*
Диметил-2-гидроксиэтиламин *268*
Диметилглиоксаль *44, 321*
Диметилглиоксим *336, 380*
β,β′-Диметилглутаровая кислота *352, 356*
N^2,N^2-Диметилгуанин *91*
N^2,N^2-Диметилгуанозин *93*
26-Диметил-28-дезоксиолигомицин B *257*
Диметилдикетон *321*
1,1′-Диметил-4,4′-дипиридилийдихлорид *297*
1,1′-Диметил-4,4′-дипиридилий-ион *297*
Диметил-3,3′-дитиобиспропионимидат *320*
N,N-Диметилдодециламино-N-оксид *236*
Диметилкетон *39*
1,3-Диметилксантин *276*
Диметилмалонимидат *320*
Диметил-α-нафтиламин *385*
17α,21-Диметил-19-норпрегна-4,9-диен-3,20-дион *172*
17α,21-Диметил-19-норпрегнадиен-4,9-дион-3,20 *172*
транс-3,7-Диметилоктадиен-2,6-ил-1-дифосфат *57*
N^1-(4,6-Диметил-2-пиримидилсульфаниламид) *275*
Диметилсуберимидат *320*
5,8-Диметилтокол *117*
7,8-Диметилтокол *117*
Диметил-*п*-фенилендиамин *423*
α,α-Диметилхолинхлорид *268*
Диметил-L-цистин *36*
Диметилэтаноламин *268*
3,3′-(3,3′-Диметокси-4,4′-дифенилен)-бис(2,5-дифенил-2H-тетразолийхлорид) *301*
3,3′-(3,3′-Диметокси-4,4′-дифенилен)-бис[2-(*п*-нитрофенил)-5-фенил-2H-тетразолийхлорид] *300*
Димышьяктриоксид *256*
Динактин *249*
Динитробензойная кислота *399*
м-Динитробензол, щелочной раствор *414*
2,4-Динитро-1-нафтол-7-сульфоновая кислота *278*
3,5-Динитросалицилат *381*
Динитросалициловая кислота *399*
2,4-Динитрофенилгидразин *381, 401, 407, 414*
2,4-Динитрофенол *254*
2,4-Динитрофторобензол *323*
2,3-Диоксобутан *321*
2,3-Диоксо-L-гулоновая кислота *130*
2,6-Диоксопурин *77*
2,5-Диоксотетрагидрофуран *333*
1,2-Диоксоциклогексан *332*
Диоктилсульфосукцинат натрия *234*
Диосгенин *236*
Диосгенинбис-α-L-рамнопиранозил-

(1→3,1→4)-β-D-глюкопиранозид *236*
Диосцин *236*
Дипиколиновая кислота *24*
α,α′-Дипиколиновая кислота *24*
2,2′-Дипиридил *337, 423*
α,α′-Дипиридил *255*
Дипиридилферрохлорид *423*
n-(Дипропилсульфамид)бензойная кислота *288*
Дистамицин А *218*
3,6-Дисульфо-1,8-дигидроксинафталин *337*
Дитеофиллинэтилендиамин *264*
Дитизон *337*
4,4′-Дитиобис(2-аминобутановая кислота) *23*
3,3′-Дитиобис(2-аминопропионовая кислота) *36*
5,5′-Дитиобис(2-нитробензойная кислота) *323*
Дитиобис(сукцинимидилпропионат) *324*
2,2′-Дитиобис(этиламин) *35*
1,2-Дитиоглицерин *316*
Дитиол *338*
1,2-Дитиолан-3-пентановая кислота *107*
Дитионит натрия *298*
Дитиооксамид *337*
6,8-Дитиооктановая кислота *107*
1,4-Дитиотреитол *317*
Дитиощавелевой кислоты диамид *337*
1,4-Дитиоэритритол *317*
Диурон *255*
Дифениламин *397, 398, 400, 401, 467*
Дифениламиновый метод *467*
Дифениламиновый реагент *467*
Дифенилгидрамин *285*
Дифенилкарбамид *203*
1,3-Дифенилмочевина *203*
N,N′-Дифенилмочевина *203*
2,5-Дифенилоксазол *459*
2,5-Дифенил-3-*n*-стирилфенилтетразолийхлорид *401*
Дифенилтиокарбазон *337*
4,7-Дифенил-1,10-фенантролин *423*
1,4-Ди[2-(5-феноксазолил)]бензол *459*
Диформил *42*
2:4-Диформилдейтерогемохром *177*
Дифосфатидилглицерин *146*
1,3-Дифосфоглицериновая кислота *61*
2,3-Дифосфоглицериновая кислота *61*
Дифосфоинозитид *145*
Дифосфомевалоновая кислота *61*
5-Дифосфомевалоновая кислота *61*
Дифосфопиридиннуклеотид *110*
Дифосфотиамин *116*
2,4-Дихлоробензилтрибутилфосфонийхлорид *207*
2,6-Дихлороиндофенол *294*
3-(3,4-Дихлорофенил)-1,1-диметилмочевина *255*
2,4-Дихлорофеноксиуксусная кислота *203*
2,6-Дихлорофенолиндофенол *426*
- Na-соль *294*
Дихлорофлуоресцеин *406*
2,6-Дихлорохинонхлороимид *424*
1,1-Дихлоро-2-(о-хлорофенил)-2-(*n*-хлорофенил)этан *262*
Ди-β-хлороэтилсульфид *216*
4-(2,4-Дихлорофенокси)масляная кислота *204*
N,N′-Дициклогексилкарбодиимид *255*
Дицистеин *36*
Дише реакция *413*
ДИЭКК *268*
5,6,5′,6′-Диэпоксизеаксантин *198*
5,8,5′,8′-Диэпоксизеаксантин *198*
Диэтаноламин *353, 369*
Диэтиламин *353*
3-(Диэтиламино)-7-амино-5-фенилфеназинийхлорид *295*

7-Диэтиламино-3-имино-8-метил-3Н-феноксазингидрохлорид *293*
2-Диэтиламиноэтил-2-дифенилпропил-ацетат *268*
1-[*п*-(2-Диэтиламиноэтокси)фенил]-1-(*п*-толил)-2-(*п*-хлорофенил)этанол *263*
1-[*п*-(2-Диэтиламиноэтокси)фенил]-1-фенил-2-(*п*-метоксифенил)этанол *262*
Диэтилбарбитурат натрия *370*
5,5-Диэтилбарбитурат натрия *362*
Диэтилбарбитуровая кислота *352, 369, 370*
5,5-Диэтилбарбитуровая кислота *283*
Диэтилдикарбонат *268, 324*
Диэтилдитиокарбамат натрия *338*
Диэтилдитиокарбаминовая кислота, Na-соль *268*
Диэтилентриаминопентауксусная кислота *338*
4,4′-(Диэтилиденэтилен)дифенол *163*
5,5-Диэтилмалонилмочевина, Na-соль *283*
Диэтилникотинамид *424*
Диэтилпирокарбонат *268, 324*
Диэтилсафранин *295*
Диэтилстильбэстрол *163, 256*
N′,N′-Диэтилсульфаниламид диазотированный *405*
ДМА *320*
ДМБХ *294*
ДМХ *294*
Ca(ДНК) *344*
Mg(ДНК) *344*
Mn(ДНК) *344*
ДНК *344, 377, 378*
– определение *467*
ДНС *322*
ДНС-аминокислоты *322*
ДНС-пролин *322*
ДНС-серин *322*
ДНФ-аминокислоты *394*
ДНФБ *323*
Додекамолибденовофосфорная кислота *419*
н-Додекановая кислота *146*
– – метиловый эфир *157*
Додецилсульфат натрия *234*
н-Докозановая кислота *142*
13-Докозеновая кислота *156*
Долихол *105*
Долихолфосфат *62*
Допамин *24*
Дорил *25*
Дормин *201*
ДОФА *23*
Драгендорфа реактив *383, 407*
Древесный спирт *47*
ДСН *234*
ДТБП *320*
ДТНБ *317, 323*
ДТТ *317*
ДТЭ *317*
Дульцит *128, 396*
Дульцитол *128*
Дуолиты *428, 429, 431*
Дурохинои *295*
Дуфастон *166*
ДФИФ *294*
ДФФ *267*
ДХММ *253, 255*
ДХФИФ *294*
ДЦКД *255*
ДЭАЭ-биогель А *438*
ДЭАЭ-сефацел *435*
ДЭАЭ-сефадексы *438*
ДЭАЭ-сефароза CL-6B *438*
ДЭАЭ-целлюлоза *434*
ДЭПК *268*
Дюльбекко раствор *374*

3-Еноилпирувилшикимат-5-фосфат *69*

Железа(III) соли *410*

Железа соль *426*
Железоаммонийсульфат *426*
Желчных кислот соли *234*
Жидкостной сцинтилляционный счет *457, 459*
Жирных кислот метиловые эфиры *157–158*
ЖСС *457*

К-Захват *457*
Зеаксантин *197*
Зеаксантол *197*
Зеатин *204*
Зоомариновая кислота *149*

Игепал СА 720 *459*
L-Идуроновая кислота *130*
Изатин *390, 394*
Изоандростерон *161*
Изобонгкрековая кислота *243*
Изовалериановая кислота *44*
– – соли Са и Na *44*
Изовинная кислота *265*
Изогуанин *80*
Изолейцин *24, 389*
L-Изолейцин *24*
L-*алло*-Изолейцин *24*
трео-L_S-Изолейцин *24*
эритро-L_S-Изолейцин *24*
Изолимонная кислота *44*
– – соль KH_2 *45*
Изомальтоза *136*
Изомасляная кислота *45*
– – соли Са и Na *45*
Изониазид *269*
Изоникотинамид *425*
Изоникотиновая кислота *424*
– – гидразид *269*
1-Изоникотиноил-2-изопропилгидразин *270*
N^6-(Изопентен-2-ил)аденин *204*
– гидроксипроизводное *204*
– 2-метилтиопроизводное *204*
(N^6-Изопентен-2-ил)аденозин *204*
Изопентенилдифосфат *62*
Изопентенилпирофосфат *62*
Изопреналин *285*
Изопропилгидразин *269*
2-Изопропил-4-диметиламино-5-метилфенил-1-пиперидинкарбоксилат-метилхлорид *201*
N-Изопропилнорадреналин *285*
2-Изопропилпентен-4-амид *282*
Изопропилтио-β-D-галактозид *308*
Изопропил-1-тио-β-D-галактопиранозид *308*
Изопропил-N-фенилкарбамат *260*
Изопропил-N-(3-хлорофенил)карбамат *260*
Изопропил-N-*м*-хлорофенилкарбамат *260*
Изопротеренол *285*
D-Изорамноза *134*
Изородеоза *134*
Изоцианат калия *325*
Изоэруковая кислота *156*
Изоянтарная кислота *47*
Имидазол *269, 341, 352, 360*
D-*эритро*-Имидазолглицерофосфат *62*
3-(1Н-Имидазол-4-ил)пропен-2-овая кислота *34*
1Н-Имидазол-4-этанамин *21*
Иминазол *269*
Иминодиуксусная кислота *453*
N-Иминометилглутаминовая кислота *35*
2-Имино-1-метил-4-имидазолидинон *27*
Иминоуксусной кислоты этиловый эфир *333*
Ингибиторы протеаз (из микроорганизмов) *273*
Индерал *289*
Индол *25*
Индол-3-глицерофосфат *62*
3-Индолилмасляная кислота *204*
3-Индолилуксусная кислота *205*

Индолуксусная кислота *392*
Индолы *384*
Инозин *76, 91, 343*
Инозин-5′-дифосфат *76, 91*
5′-Инозиновая кислота *77*
Инозин-5′-трифосфат *76*
Инозин-3′(2′)-фосфат *91*
Инозин-5′-фосфат *77, 91*
Инозит *105, 396, 425*
мезо-Инозит *105*
мио-Инозит *105*
Инозиттрифосфат *63*
Инозитфосфат *425*
1-D-*мио*-Инозит-1-фосфат *64*
Инсулин *285*
ИНТ *296*
Иод *383, 387, 391, 395, 397, 420*
– пары *406, 413*
Иодат калия *387, 406*
Иодирующие реагенты *324*
Иодоацетамид *269*
м-Иодобензгидроксамовая кислота *253*
Иодоводородная кислота *420*
Иодогоргоновая кислота *24*
5-Иодо-2′-дезоксиуридин *218*
Иодонитротетразолийхлорид *296*
Иодоплатинат *383*
3-Иодотирозин *25*
Иодоуксусная кислота *269*
– – Na-соль *269*
2-*п*-Иодофенил-3-*п*-нитрофенил-5-фенил-2Н-тетразолийхлорид *296*
п-Иодофенилсульфонилхлорид *325*
Ионофоры макротетралидные *249*
Ипразид *270*
Иприт *216*
Ириум *234*
Итаконовая кислота *45*
ИФК *260*

Кадаверин *25*
Какодилат натрия *358*
– – тригидрат *358*
Какодиловая кислота *352, 369*
Кальмодулин *288*
Кальцидиол *102*
Кальциол *120*
Кальцитриол *104, 171*
Кальциферол *122*
Каммерера порфирин *185*
Канаванин *227*
Канамицин *230*
Кандидин *247*
Каприловая кислота *145*
Каприновая кислота *145*
Капроновая кислота *41*
Карбазол *403*
Карбамид *29*
Карбамиласпарагиновая кислота *25*
Карбамилфосфат *62*
Карбамилхолинхлорид *25*
N-δ-Карбамоилорнитин *36*
Карбамоилфосфат *62*
Карбанилид *203*
Карбахол *25*
Карбинол *47*
Карбовакс *318*
Карбодиимиды *326*
N-(3-Карбокси-2-гидроксипропил)-N,N,N-триметиламмонийгидроксид, внутренняя соль *26*
1-Карбокси-4-гидроксициклогексадиен 2,5-пировиноградная-1 кислота *50*
4-Карбоксиглутаминовая кислота *25*
γ-Карбоксиглутамиковая кислота *25*
N-((S)-1-Карбоксиизопентил)карбамоил-α-(2-иминогексагидро-4(S)-пиримидил)-L-глицил-L-глутаминил L-аланинальдегид *274*
O-(Карбоксиметил)гидроксиламин *264*
N-Карбоксиметил-N,N,N-триметиламмонийгидроксид, внутренняя соль *17*

6-Карбоксиурацил *82*
о-Карбоксифенилфосфат *311*
[(S)-1-Карбокси-2-фенилэтил]карбамоил-L-аргинил-L-валиларгинин-альдегид *273*
N-[((S)-1-Карбокси-2-фенилэтил)карбамоил]-α-[2-иминогексагидро-4(S)-пиримидил]-L-глицил-L-лейцилфенилаланинальдегид *274*
Карболовая кислота *51*
Карбомицин *233*
Карбонаты аммония, калия и натрия *370, 371*
Карбонат висмута *383*
Карбонатные буферные растворы *367, 368*
Карбонилдиимидазол *446*
Карбонилцианидфенилгидразон *256*
Карбонилцианид-*м*-хлорофенилгидразон *256*
N-Карбэтоксигистидин *324*
N-Карбэтоксиимидазол *324*
Кардиазол *286*
Кардиолипин *146*
Карлсона раствор (прямокрылые) *374*
Кармин *404*
Карнитин *26*
L-Карнозин *26*
Каротин *196*
транс-γ-Каротин *196*
α-Каротин *196*
β-Каротин *196*
γ-Каротин *196*
δ-Каротин *196*
Карубиноза *131*
Касугамицин *227*
Катал *476*
Катехин *45*
Катехоламинтриацетат *388*
Квамоний *235*
Квасцы аммонийные и калиевые *371*
Кверцетин *382*
Квиновоза *134*
Кенига реакция *424*
Кератин *155*
α-Кетоадипиновая кислота *49*
β-Кетоадипиновая кислота *49*
4-Кетовалериановая кислота *270*
"Кетовалин" *49*
17-Кетогенная реакция *418*
α-Кетоглутаровая кислота *49*
2-Кето-D-глюконовая кислота *130*
5-Кето-D-глюконовая кислота *131*
2-Кето-L-гулоновая кислота *131*
– – 1,4-лактон *131*
2-Кето-3-дезокси-7-фосфогептоновая кислота *61*
2-Кето-3-дезокси-6-фосфоглюконовая кислота *62*
"Кетоизолейцин" *49*
"Кетолейцин" *49*
α-Кетомасляная кислота *49*
Кефалин *154*
Кинетин *205*
Кинуренин *26, 382*
Кинуреновая кислота *26*
Кислый виннокислый калий *41*
Кларка–Лабса буферные растворы *354, 355, 357, 359, 365*
Клеланда реагент *317*
КМ-биогель А *438*
КМ-сефадексы *438*
КМ-сефароза CL-6B *438*
КМ-целлюлоза *436*
Коб(I)аламин *121*
Коб(II)аламин *121*
Ковидарабин *219*
Кодеин *287*
Кодекарбоксилаза *111*
Кокарбоксилаза *116*
Коккулин *287*
Коламин *37*
Колистин А *250*

Колистин B *250*
Колистины *249*
Коллидин *349, 370*
2,4,6-Коллидин *352, 361*
Колхицин *218*
Конго красный *372, 382*
Конгоцидин *221*
Конканавалин A *240*
Конъюгаты стероидные *418*
Копратопорфирин *Шумма* *182*
Копро I *183*
Копро III *183*
Копропорфирин I *183*
Копропорфирин III *183*
Копростанол *146*
Копростерин *146*
Копростерол *144*
Корамин *424, 425*
Кордицепин *219*
Коричная кислота, *транс*-форма *45*
Коричный альдегид *421*
Кори эфир *59*
Кортизол *168*
Кортизон *168*
Кортикостероиды *414*
Кортикостерон *168*
Кортикотропины *27*
Кортикотрофин *27*
Кортланда раствор (форель) *374*
Коумермицин A_1 *219*
Кофеин *270*
– сульфат *270*
Кофермент A *106, 425*
– – ацильные соединения *100*
– – Li_3-соль *106*
Кофермент B_{12} *106*
Кофермент F_{420} *107*
Кофермент I *110*
Кофермент II *110*
Кофермент Q_n *117*
Кофермент R *101*
Кофермент M *107*
Коформицин *219*
Кошланда реагент *321*
Крахмал *406*
Креатин *27*
Креатинин *27*
Креатинфосфат *68*
Крезоловый красный *372*
м-Крезоловый пурпурный *372*
Криптогемохром *a* *177*
β-Криптоксантин *197*
Криптоксантол *197*
Криптопорфирин *a*, диметиловый эфир *18*
Кристаллический фиолетовый *331*
Кротоновая кислота, *транс*-форма *45*
Ксантин *77, 93*
Ксантогенат калия *338*
Ксантозин *93, 343*
Ксантозин-5′-трифосфат *94*
Ксантозин-5′-фосфат *94, 223*
Ксантоптерин *382*
Ксантофилл *197*
Ксилит *125*
Ксилобиоза *136*
D-Ксилогексулозоновая кислота *131*
L-Ксило-2-гексулозоновая кислота *131*
Ксилоза *396*
D-Ксилоза *125*
UDP-Ксилоза *141*
α-D-Ксилозо-1-фосфат *141*
D-Ксилокетоза *125*
L-Ксилокетоза *125*
4-O-β-D-Ксилопиранозил-β-D-ксилоза *13*
Ксилулоза *396*
D-Ксилулоза *125*
d-Ксилулоза *125*
L-Ксилулоза *125*
D-Ксилулоза-5-фосфат *63*
Кумасси бриллиантовый синий *376, 466*
Кумасси синий *376*
Купраль *338*

Купрон *336*
Купферрон *336*
КЦФ *256*
КЦХФ *256*
Кюри *454*

Лазалоцид А *248*
Лакмус *372*
Лактаминовая кислота *127*
Лактат натрия *477*
Лактид *47*
Лактобиоза *137*
Лактоза *137, 396*
Лактоиллактат *47*
D-Лактоновая кислота *128*
Лактофлавин *115*
Ланоста-8,24-диен-3β-ол *146*
Ланостадиен-8,24-ол-3β *146*
Ланостерин *146*
L-Лантионин *27*
Ларгактил *260, 292*
Лаурилдиметиламиноксид *236*
N-Лаурилсаркозил, Na-соль *234*
Лаурилсульфат натрия *234*
Лауриновая кислота *146*
Левамизолгидрохлорид *270*
Левина модифицированная методика *463*
Леводопа *23*
Левулиновая кислота *270*
Левулоза *133*
Легала реагент *416*
Лейкоагглютинин *241*
Лейковорин *119*
Са-Лейковорин *119*
Лейкометиленовый синий *424*
Лейпептины *273*
L-Лейцилглицин *306*
Лейцин *27, 341, 353, 389*
L-Лейцинамидгидрохлорид *306*
Лектин *Helix pomatia* *241*
Лектин сои *241*
Лектин пшеницы *240*
Лектин чечевицы *241*
Лектины *240, 451*
Лепаргиловая кислота *142*
Лептазол *286*
Лецитин *153*
Либермана–Бурхарда реакция *421*
Лиганды *451, 452*
– аминокислоты, пептиды и амины *451*
– белки *451*
– гидрофобные *452*
– коферменты и витамины *451*
– красители *452*
– лектины *451*
– нуклеотиды *451*
– олиго- и полинуклеотиды *451*
– углеводы *452*
Лигноцерилсфингозин *146*
Лигноцериновая кислота *146*
– – метиловый эфир *146*
Лизин *28, 341, 389*
Лизинвазопрессин *18*
Лизолецитин (β) *147*
Лизоплазмалоген *149*
Лизофосфатидилхолин *147*
Ликопин *196*
D-Ликситол *124*
D-Ликсокетоза *125*
L-Ликсокетоза *125*
Лимонная кислота *46, 342, 352, 355, 370, 371*
– – дигидрат тринатриевой соли *356*
– – моногидрат *355*
– – соли K, NH_4 и Na *46*
Линдан *265*
Линестренол *166*
Линолевая кислота *143, 147*
Линоленовая кислота *143, 147*
Липоевая кислота *107*
α-(+)-Липоевая кислота *107*
β-Липотропин *37*

Лиссаминродамин В *326*
Литохолевая кислота 173
Локка раствор (насекомые) *374*
– – сердце млекопитающих *374*
Лоури, Розенброу, Фарра и *Рандалла* методика *466*
Лоури–Фолина метод *466*
Лубролы РХ и WX *237*
Лутеостерон *165*
Лизо-ФХ *147*
Люпеоза *138*
Лютеин *197*
Лютеин-5,6-эпоксид *197*
Лютеинэпоксид *197*

Магическое пятно I *78*
Магическое пятно II *78*
Макильвейна буферные растворы *355*
Макролиды *233*
Малеат натрия кислый *358*
ε-Малеиллизин *326*
Малеиновая кислота *46, 343, 352, 358*
– – гидразид *205*
Малеиновый ангидрид *326*
Малонил-СоА *107*
Малонил-S-СоА *107*
Малонилкофермент А *107*
Малоновая кислота *46, 343*
Мальтобиоза *137*
Мальтоза *137, 396*
Мальтоновая кислота *129*
Маннит *396*
D-Маннит *131*
D-Маннитол *131*
D-Манногептулоза *135*
Манноза *396*
D-Манноза *131*
GDP-Манноза *140*
NDP-α-D-Манноза *139*
D-Маннозамингидрохлорид *131*
α-D-Маннозилфосфат *63*
α-D-Маннозо-1-фосфат *63, 140*
Маннозо-6-фосфат *63*
L-Маннометилоза *134*
D-Маннооксогептоза *135*
Маннурон *132*
D-Маннурон *132*
D-Маннуроновая кислота *132*
– – 3-лактон *132*
Маргариновая кислота *143*
Марсилид *270*
н-Масляная кислота *46*
– – соли Ca и Na *46*
Масляный альдегид *46*
Мевалоновая кислота *47*
Мегестеролацетат *166*
Медроксипрогестерон *166*
Мезобиладиен(2′*a*,5′*b*) *181*
Мезобилан-IXα *180*
Мезобиливердин *179*
Мезобиливиолин *181*
Мезобилин(*b*)-IXα *180*
– солянокислый *181*
Мезобилирубин *180*
Мезобилирубиноген *180*
Мезогемохром *177*
Мезоинозит *105*
Мезоксалилмочевина *282*
Мелампирин *128*
Мелатонин *17*
Мелибиоза *137, 396*
Менадиол *297*
Менадион *296*
Менафтон *296*
Менахинон *107, 296*
Менахинон-6 *107*
Менахинон-7 *107*
Мепакрин *252*
Меркалейкин *220*
Меркап *317*
2-Меркаптобензтиазол *270*
2-Меркапто-4-гидроксипиримидин *224*

2-Меркаптогистидина бетаин *37*
6-Меркаптопурин *220*
Меркаптоуксусная кислота *318*
2-Меркаптоэтанол *317*
2-Меркаптоэтансульфоновая кислота *107*
2-Меркаптоэтиламин *35*
Меркурохром *380*
Местранол *163*
Метаарсенит натрия *256*
Метаналь *52*
Метанамин *28*
Метандростенолон *161*
Метановая кислота *48*
Метанол *47*
Метансульфонат *267*
Метапериодат натрия *397, 402*
Метахолинхлорид *16*
5,10-Метенилтетрагидроптероилглутаминовая кислота *108*
Метенолон *161*
Метил-B_{12} *109*
1-Метиладенин *89*
2-Метиладенин *89*
7-Метиладенин *89*
N^6-Метиладенин *89*
1-Метиладенозин *90*
2-Метиладенозин *90*
N^6-Метиладенозин *90*
Метил-3-(4-азидофенилдитио)пропионимидат *327*
10-Метилакридинийхлорида производное *222*
2-Метилаланин *246*
α-Метилаланин *14*
α-Метил-β-аланин *14*
N-Метиламидазол-5-аланин *28*
Метиламин *28, 353*
N-Метиламинометан *24*
α-(1-Метиламиноэтил)бензиловый спирт *292*
17α-Метил-4-андростен-3-оч-17β-ол *162*
17α-Метиландростен-4-он-3-ол-17β *162*
Метилацетимидат *327*
Метилбис(β-хлороэтил)амингидрохлорид *286*
3-Метилбутановая кислота *44*
6-(3-Метилбутен-2-иламино)пурин *204*
6-(3-Метилбутен-2-иламино)-9-β-D-рибофуранозилпурин *204*
4-Метил-3-бутенилгуанидинсульфат *258*
3-Метилбутен-2-ил-1-дифосфат *61*
3-Метилбутен-3-ил-1-пирофосфат *62*
Метилвиологен *203, 297*
α-Метилгалактозид *132*
β-Метилгалактозид *132*
α-Метил-D-галактопиранозид *132*
β-Метил-D-галактопиранозид *132*
4-Метилгексановой кислоты метиловый эфир *157*
14-Метилгептадекановой кислоты метиловый эфир *157*
6-Метилгептановой кислоты метиловый эфир *157*
17α-Метил-17β-гидроксиандростадиен-1,4-он-3 *161*
17α-Метил-17β-гидроксиандроста-1,4-диен-3-он *161*
γ-Метил-γ-гидрокси-α-кетоглутаровая кислота *271*
L-1-Метилгистидин *28*
L-3-Метилгистидин *28*
1-Метилгликоциамидин *27*
Метилгликоциамин *27*
Метилглиоксаль *47*
N-Метилглицин *31*
α-Метилглюкозид *132*
β-Метилглюкозид *132*
α-Метил-D-глюкопиранозид *132*
β-Метил-D-глюкопиранозид *132*
(α-Метилгуанидо)уксусная кислота *27*
1-Метилгуанин *91*
7-Метилгуанин *80, 92*

N^2-Метилгуанин *91*
7-Метилгуанозин *81, 93*
7-Метилгуанозин-5′-монофосфат *228*
7-Метилгуанозин-5′-трифосфат *93*
7-Метилгуанозин-5′-фосфат *93*
5-Метилдезоксицитидиловая кислота *81*
5-Метил-2′-дезоксицитидин *81, 98*
5-Метил-2′-дезоксицитидин-5′-фосфат *81, 98*
8-Метилдекановой кислоты метиловый эфир *157*
4-Метил-1,2-димеркаптобензол *338*
10-Метилдодекановой кислоты метиловый эфир *157*
3,3′-Метиленбис(4-гидроксикумарин) *284*
Метиленбутандиовая кислота *45*
9,10-Метиленгексадекановая кислота *147*
Метиленовый синий *297, 331, 332, 376, 377, 419, 424*
5,10-Метилентетрагидроптероилглутаминовая кислота *108*
5,10-Метилентетрагидрофолиевая кислота *108*
N-Метиленфеназинийметилсульфат *303*
Метиленянтарная кислота *45*
5,10-Метилидинтетрагидрофолиевая кислота *108*
1-Метил-3-изобутилксантин *271*
O-Метилизомочевина *328*
5(4)-Метилимидазол *352*
1-Метилимидазол-4-аланин *28*
Метилкобаламин *109*
N^6-Метил-L-лизин *28*
ε-C-Метиллизин *228*
ε-N-Метил-L-лизин *28*
ω-Метиллизин *228*
2-Метилмалеиновый ангидрид *332*
Метилмалоновая кислота *47*
3-Метил-7-(3-метилбутиламино)пиразоло[4,3-*d*]пиримидин *206*
Метилметионинсульфонийбромид *28*
1-Метилмочевая кислота *270*
2-Метил-1,4-нафтохинон *296*
N-Метил-N′-нитро-N-нитрозогуанидин *22*
8-Метилнонановой кислоты метиловый эфир *157*
Метиловый желтый *372*
Метиловый красный *372, 380*
Метиловый оранжевый *372*
Метиловый спирт *47*
3-Метил-2-оксобутановая кислота *49*
3-Метил-2-оксопентановая кислота *49*
4-Метил-2-оксопентановая кислота *49*
(-)-10-(D)-Метилоктадекановая кислота *152*
6-Метилоктановая кислота *249*
– – метиловый эфир *157*
2-Метилпропандиовая кислота *47*
2-Метилпропановая кислота *45*
2-Метилпсевдомочевина *328*
Метилртуть *378*
10-Метилстеариновая кислота *152*
Метилтеобромин *270*
Метилтестостерон *162*
17α-Метилтестостерон *162*
5-Метилтетрагидроптероилглутаминовая кислота *109*
5-Метилтетрагидрофолат *109*
12-Метилтетрадекановой кислоты метиловый эфир *157*
Метилтио-β-D-галактозид *308*
Метил-1-тио-β-D-галактопиранозид *308*
Метилтионинхлорид *297, 332*
8-Метилтокол *117*
O-Метилтреонин *228*
алло-O-Метилтреонин *228*
Метилтриенолон *172*
5-Метилтриптофан *228*
4-Метилумбеллиферил-2-ацетамид-2-дезокси-β-D-глюкопиранозид *308*
4-Метилумбеллиферил-2-ацетамидо-2-дезокси-β-D-галактопиранозид *308*

4-Метилумбеллиферил-N-ацетил-β-D-галактозаминидин *308*
4-Метилумбеллиферил-N-ацетил-β-D-глюкозаминидии *308*
4-Метилумбеллиферил-α-D-галактозид *308*
4-Метилумбеллиферил-α-D-галактопиранозид *308*
4-Метнлумбеллиферилгликозиды *308*
4-Метилумбеллиферил-α-D-глюкозид *308*
4-Метилумбеллиферил-β-D-глюкозид *309*
4-Метилумбеллиферил-α-D-глюкопиранозид *308*
4-Метилумбеллиферил-β-D-глюкопиранозид *309*
4-Метилумбеллиферил-β-D-глюкуронид *309*
4-Метилумбеллиферил-β-D-ксилозид *309*
4-Метилумбеллиферил-β-D-ксилопиранозид *309*
4-Метилумбеллиферил-α-D-маниозид *309*
4-Метилумбеллиферил-α-D-маннопиранозид *309*
4-Метилумбеллифериловые эфиры [ацетат, бутират, элаидат (*транс*), гептаноат, нонаноат, олеат (*цис*), пальмитат, пропионат] *314*
4-Метилумбеллиферилфосфат *311*
4-Метилумбеллиферил-α-L-фукозид *309*
4-Метилумбеллиферил-α-L-фукопиранозид *309*
4-Метилумбеллиферон *311, 458*
10-Метилундекановой кислоты метиловый эфир *157*
5-Метилурацил *83*
5-Метилуридин *96*
N-Метнлфеназиинйметилсульфат *303*
(±)-α-Метилфенэтиламин *282*
Метилфеофорбид *193*
2-Метил-3-фитил-1,4-иафтохинон *118*
9-Метилфолиевая кислота *220*
Метилхолантрен *220*
Метилхолантренхолевая кислота *220*
5-Метилцитидин *81, 98*
5-Метилцитозин *81, 97*
N^4-Метилцитозин *97*
5-Метилцитозиндезоксирибозид *81*
17α-Метилэстратриен-4,9,11-он-3-ол-17α *172*
Метиоиин *29, 341, 389*
Метионинметилсульфонийбромид *28*
Метионнисульфоксид *29, 329*
Метионинсульфои *29, 389*
Метнрапои *201, 262*
Метоксатин *112*
3-Метоксиизопреналин *285*
N-[2-(5-Метокси-1H-индолил-3)-этил]ацетамид *17*
3-Метокси-19-нор-17α-прегнатриен-1,3,5(10)-ин-20-ол-17 *163*
3-Метокси-19-иор-17α-прегна-1,3,5(10)-триеи-20-ин-17-ол *163*
о-Метоксифенол *294*
Метониевые соединения *286*
Метопирон *262*
Метотрексат *211, 451*
Метразол *286*
Метризамид *471*
Метризоевая кислота, 1-дезокси-1-(метиламино)-D-глюцитовая (метилглюкаминовая) соль *471*
Мехлорэтамингидрохлорид *286*
Миоинозит *105*
Миоинозитгексакисфосфорная кислота *63*
Миоинозитгексафосфат *63*
L-Миоинозит-1,4,5-трифосфат *63*
L-Миоинозит-1-фосфат *64*
Мноинозит-2-фосфат *64*
Миристиновая кислота *147*
Митомицин С *220*
Митомицины *220*
Митотан *262*
Митрамицин *225*
МК-6 *107*

МК-7 *107*
Молибдаты (аммония, натрия) *399, 411, 413*
Молибденовая кислота *404*
Молибденовый синий *407*
Молочная кислота *47, 343, 369*
– – соли Li, Na и Zn *48*
DL-Молочная кислота обычная *47*
Монактин *249*
Моиензин *249*
Моноацилглицерины *148*
Моногалактозилглицерин *143*
Моногалактозилдиглицерид *143*
Моноглицериды *148*
Моноиодотирозин *25*
Моноксид углерода *257*
Моносиалоганглиозид *143*
Моиотноэтнлеигликоль *317*
Монофосфониозитид *152*
Моноэтаноламии *370*
Монурон *261*
Морфактин *206*
Морфии *287*
– метиловый эфир *287*
3-(N-Морфолиио)пропансульфоновая кислота *352*
Морфолинопропаисульфоновая кислота *361*
2-(N-Морфолино)этаисульфоновая кислота *342, 352, 359*
Мочевая кислота *77, 426*
Мочевина *29, 239, 378, 400, 401, 423*
Мукоза *138*
цис,цис-Муконовая кислота *48*
Муравьиная кислота *343, 352, 370, 421, 474, 48*
– – соли K, NH_4 и Na *49*
Мурамовая кислота *133*
Мурексид *336*
Мускарин *288*
Мустарген *286*
Муцикармин *404*
Мышьяковая кислота *352*
Мышьяковистая кислота *256, 405*
– – Na-соль *256*
Мышьяковистый аигидрид *256*
L(+)-Мясомолочиая кислота *47*

НАД *110*
$НАД^+$ *110*
Надмуравьиная кислота *329*
НАДФ *110*
$НАДФ^+$ *110*
Налидиксовая кислота *221*
Нандролон *162*
Натрий-ион *369*
Натрийфлуоресцеин *423*
Нафталам *206*
1-Нафталиуксусная кислота *206*
α-Нафтиламин *399*
β-Нафтиламин *399*
β-Нафтилацетат *314*
β-Нафтиллаурат *314*
2-Нафтиловые эфиры *314*
β-Нафтиловые эфиры (ацетат, лаурат) *314*
Нафтилуксусная кислота *206*
α-Нафтилфосфат, кислая Na-соль *311*
N-1-Нафтилфталаминовая кислота *206*
N-(1-Нафтил)этилендиамин *385*
α-Нафтол *311, 393, 400*
β-Нафтол *314*
– щелочной раствор *385*
Нафторезорцин *400, 419*
1,2-Нафтохиноп-4-сульфонат *391*
β-Нафтохинон-4-сульфонат *425*
Негамицин *228*
Нейтральный красный *372*
Нембутал *284*
Неомицин *230*
Неопиритиамии *272*
Неостигмиибромид *271*
Неотетразолийхлорид *299*

Нервои *155*
Нервоновая кислота *148*
Нетропсин *221*
Ниации *110*
Ниациниамид *109*
Нигерицин *249*
Никотии *287*
– деметилированиый *287*
Никотииамид *109, 424, 425*
Никотинамидадеииндиуклеотид *110*
– восстаиовлениый *104*
– Li-соль *110*
Никотинамидадениндинуклеотидфосфат *110*
– восстановленный *104*
– соли K и Na *110*
Никотинамидмоноиуклеотид *110*
Никотинамидриботид *110*
Никотинмочевая кислота *424*
Никотиновая кислота *110, 424*
– амид *109*
Нильский синий *379*
Нильсона-Лохмана эфир *67*
Нингидрин *380, 382, 386, 389, 393, 395, 404, 405, 407, 425*
Нистатин *247*
Нитогении *236*
Нитрат висмута *383*
Нитрат серебра *396*
– аммиачный раствор *384, 417*
– щелочной раствор *410, 425*
Нитрилотриуксусная кислота *338*
НитроВТ *300*
п-Нитроанилин *402, 423*
– диазотированный *409*
α-Нитрозо-β-нафтол *386, 391*
N-Нитрозофенилгидроксиламина аммонийная соль *336*
Нитропруссид иатрия *383, 393, 402 415, 416, 417, 425*
Нитропруссидный реагент *425*
Нитротиразин *329*
5-Нитро-1,10-феиантролин *338*
п-Нитрофенил-2-ацетамидо-2-дезокси-β-D-глюкопиранозид *309*
п-Нитрофенил-N-ацетил-β-D-глюкозамииидин *309*
о-Нитрофеиил-β-D-галактозид *309*
п-Нитрофеиил-β-D-галактозид *310*
о-Нитрофеиил-β-D-галактопиранозид *309*
п-Нитрофеиил-β-D-галактопиранозид *310*
о-Нитрофеиил-β-D-глюкозид *309*
п-Нитрофенил-α-D-глюкозид *310*
п-Нитрофенил-β-D-глюкозид *310*
о-Нитрофеиил-β-D-глюкопиранозид *309*
п-Нитрофенил-α-D-глюкопиранозид *310*
п-Нитрофенил-β-D-глюкопиранозид *310*
п-Нитрофениловые эфнры *315*
п-Нитрофенилтимидин-3′-фосфат, NH_4-соль *312*
п-Нитрофенилтимидин-5′-фосфат, Na-соль *312*
п-Нитрофеннлфосфат, Na_2-соль *313*
п-Нитрофенол *312, 315*
Нифегаль *309*
Новобиоцин *222*
– димер *219*
Ноголамицин *217*
Нойберга эфир *69*
цис,цис-Нонадекадиен-10,13-овой кислоты метиловый эфир *158*
н-Ноиадекаиовой кнслоты метиловый эфир *158*
цис,цис,цис-Ноиадекатриен-7,10,13-овой кислоты метиловый эфир *158*
Ноиактии *249*
Ноиандикислота *142*
н-Нонановая кнслота *149*
– метиловый эфир *157*
Ноиидет P40 *237*
2-*н*-Нонил-4-гидроксихинолин-N-оксид *256*
Норадреналии *29*

Норвалин *30*
Норгестрель *166*
Норлейцин *30, 229, 341*
Нориикотин *287*
19-Нор-17α-прегна-1,3,5(10)-триен-20-ин-3,17β-диол *164*
19-Нор-17α-прегиен-4-ии-20-ди-ол-3β,17 *167*
Норэпииефрин *29*
19-Нор-17α-этинилтестостерон *167*
19-Норэтистерон *167*
– ацетат *167*
Норэфедрин *292*
Нуклеозиддифосфатсахар *139*
Нуклеозид-5′-дифосфосахар *139*
Нуклеозиддифосфосахара *139*
Нуклеозид-5′-(сахарпирофосфат) *139*

Обогащенная сыворотка по *Кребсу* *373*
ОБЭ *454*
′Огенные реакции *417*
Оксалат аммония *371*
Оксаминовая кислота *271, 453*
Оксамицин *280*
Оксаниловая кислота *400*
Оксид углерода *257*
Оксиметолон *162*
Оксин *336*
Окснервон *155*
Окситетрациклин *230*
Окситиаминхлоридгидрохлорид *271*
Окситоцин *30*
Окситоцнновый гормон *30*
8-Оксихинолин *336*
2-Оксоадипиновая кислота *49*
3-Оксоадипиновая кислота *49*
2-Оксобутандиовая кислота *53*
2-Оксобутановая кислота *49*
3-Оксобутановая кислота *39*
4-Оксобутановая кислота *55*
2-Оксогександиовая кислота *49*
3-Оксогександиовая кислота *49*
α-Оксогидрокоричная кислота *51*
17-(1-Оксо-2-гидроксиэтил)андростен-4-дион-3,11-ол-17 *168*
17-(1-Оксо-2-гидроксиэтил)-4-андростен-3,11-дион-17-ол *168*
17α-(1-Оксо-2-гидроксиэтил)андростен-4-ои-3 *168*
17β-(1-Оксо-2-гидроксиэтил)-4-андростен-3-он-11β-ол *168*
2-Оксоглутаровая кислота *49*
2-Оксо-D-глюконовая кислота *130*
5-Оксо-D-глюконовая кислота *131*
2-Оксо-L-гулоновая кислота *131*
2-Оксо-3-дезоксн-6-фосфоглюконовая кислота *62*
2-Оксоизовалериановая кислота *49*
2-Оксоизокапроиовая кислота *49*
18-Оксокортикостерон *167*
2-Оксо-L-ксилогексоза *133*
Оксолиновая кислота *222*
2-Оксомасляиая кислота *49*
2-Оксо-3-метилвалериановая кислота *49*
2-Оксопентандиовая кислота *49*
4-Оксопентановая кислота *270*
5-Оксопирролидин-2-карбоновая кислота *31*
5-Оксопролин *31*
2-Оксопропаналь *47*
1-Оксопропан-1,2,3-трикарбоновая кислота *54*
2-Оксопропионовая кислота *49*
Оксородогемохрома эфир *177*
Оксоэтановая кислота *42*
7,8,11,12,12′,11′,8′,7′-Октагидроликопин *195*
цис,цис-Октадекадиен-9,12-овая кислота *147*
– – метиловый эфир *158*
цис-9-*цис*-12-Октадекадиеновая кислота *147*

Октадекадиен-6,9-овой кислоты метиловый эфир *158*
транс,транс-Октадекадиен-9,11-овой кислоты метиловый эфир *158*
транс,транс-Октадекадиен-10,12-овой кислоты метиловый эфир *158*
транс,цис-Октадекадиеи-10,12-овой кислоты метиловый эфир *158*
цис,транс-Октадекадиен-9,11-овой кислоты метиловый эфир *158*
н-Октадеканаль *150*
н-Октадекановая кислота *150*
– метиловый эфир *158*
Октадекатетраен-6,9,12,15-овой кислоты метиловый эфир *157*
Октадекатриен-9,11,13-овая кислота *156*
цис-9,*цис*-12,*цис*-15-Октадекатриеновая кислота *147*
цис,цис,цис-Октадекатриен-9,12,15-овая кислота *147*
– – метиловый эфир *157*
транс,транс,транс-Октадекатрн-ен-9,11,13-овой кислоты метиловый эфир *158*
цис,транс,транс-Октадекатри-ен-9,11,13-овой кислоты метиловый эфир *157*
цис,цис,цис-Октадекатриен-6,9,12-овой кислоты метиловый эфир *157*
11-Октадеценовая кислота *142*
цис-9-Октадеценовая кислота *148*
транс-Октадецен-4-овой кислоты метиловый эфир *158*
транс-Октадецен-9-овой кислоты метиловый эфир *158*
цис-Октадецен-4-овой кислоты метиловый эфир *158*
цис-Октадецен-6-овой кислоты метиловый эфир *158*
цис-Октадецен-9-овой кислоты метиловый эфир *158*
цис-9-Октадеценол *148*
н-Октановая кислота *145*
– метиловый эфир *157*
Октапептин A_1 *249*
Октапептины *249*
Октилглюкозид *236*
Октил-β-D-глюкопиранозид *236*
Олеиновая кислота *148, 257*
Олеиновый спирт *148*
Оливомицин *225*
Олиго-dA *451*
Олиго-dC *451*
Олиго-dG *451*
Олиго-dI *451*
Олиго-dT *451*
Олигомицин *252*
Олигомицин B *257*
Оопорфирин *185*
Ооциан *179*
Оргаметрил *166*
Орнитин *30, 342, 394*
Оротидин *82, 94*
Оротидин-5′-фосфат *82, 94*
Оротовая кислота *82, 94*
Ортомышьяковой кислоты Na-соль *257*
Орцин *381, 400, 401, 407, 467*
Орциновый метод *467*
Осмиевая кислота *414*
Осмия тетраоксид *380*
Относительная биологическая эффективность *454*
Относительный атомный избыток *454*

ПАБК *99*
ПАБ-целюлоза *435*
ПАВ сульфобетаиновые *236*
Пактамицин *229*
Пальмитальдегид *148*
Пальмитиловый спирт *155*
Пальмитиновая кислота *148*
Пальмитиновый альдегид *148*

Пальмитолеиновая кислота *149*
Паитетеин *111*
D(+)-Пантетеин-4′-фосфат *64*
N-(Паитотеиил)-β-амиоэтантиол *111*
Пантотеиовая кислота *111, 425*
- Ca-соль *111*
Паракват *203, 297*
Параметазон *169*
Парапируват *271*
Парлодель *171*
Паули реактив *392, 405*
ПВП *472*
ПВП поперечио-сшитый *318*
Пектиноза *124*
Пеларгоновая кислота *149*
Пенициллин *265, 272*
- Na-соль *272*
Пеиициллии G *272*
Пеитадекаиовая кислота *149*
- метиловый эфир *157*
н-Пеитадекаиовой кислоты метиловый эфир *157*
Пеитаметилеидиамин *25*
1,5-Пеитаметилентетразол *286*
1,5-Пентандиамии *25*
Пентаидиовая кислота *44*
Пеитановая кислота *40*
н-Пеитановой кислоты метиловый эфир *157*
Пеитахлорид сурьмы *422, 423*
Пентахлорофенол *258*
Пентеиилгуанидинсульфат *258*
Пентилеитетразол *286*
Пеитобарбитал *284*
Пентобарбитоинатрий *284*
Пеитостатии *219*
Пентотал натрия *284*
D-*трео*-Пентулоза *125*
D-*эритро*-Пентулоза *126*
L-*трео*-Пентулоза *125*
D-*трео*-Пентулозо-5-фосфат *63*
D-*эритро*-Пеитулозо-5-фосфат *65*
Пепстатин A *273*
Пепстатины *273*
Пептиды *394*
Периодат (калия, натрия) *403, 404, 407, 413*
Периодокупрат калия *402*
Перколл *472*
Пермаиганат калия *397, 420, 422*
- кислый раствор *398*
- щелочиой раствор *397*
Пермуравьииая кислота *329*
Пероксид водорода *329*
Пероксимуравьииая кислота *329*
Пиколииовая кислота *30*
Пикрилсульфоновая кислота *330*
Пикрилхлорид *425*
Пикриновая кислота *400*
Пикротии *287*
Пикротоксин *287*
Пикротоксинин *287*
Пилокарпин *288*
Пимелиновая кислота *49*
Пиоциаиии *299*
DL-Пипеколиновая кислота *31*
L-Пипеколиииовая кислота *30*
Пиперазин *402*
Пиперазин-N,N′-бис(2-этансульфоновая кислота) *352*
Пиперидин *353*
Пиперидии-2-карбоновая кислота *30*
Пиперидиновая кислота *14*
Пипсилхлорид *325*
Пиразол *272*
N^1-2-Пиридилсульфаниламид *275*
Пиридии *343, 370*
Пиридин-2,3-дикарбоновая кислота *35*
Пиридии-2,6-дикарбоновая кислота *24*
Пиридии-2-карбоновая кислота *30*
Пиридин-3-карбоновая кислота *110*
Пиридин-3-сульфоновая кислота *272*

Пиридинферрогемохромы *177*
Пиридоксальгидрохлорид *111*
Пиридоксальфосфат *111, 328*
Пиридоксаль-5′-фосфат *111*
Пиридоксамин *343*
Пиридоксамиидигидрохлорид *112*
Пиридоксаминфосфат *112*
Пиридоксамин-5′-фосфат *112*
Пиридоксин *424*
Пиридоксингидрохлорид *112*
Пириметамин *222*
N^1-2-Пиримидилсульфаииламид *275*
Пиритиаминбромидгидробромид *272*
Пирицидии А *251, 258*
Пировиноградиая кислота *49, 343*
– соли Li и Na *50*
Пировиноградный альдегид *47*
Пирогалловая кислота *272*
Пирогаллол *272, 300*
Пироглутаминовая кислота *31*
Пирокатехин *45*
Пирокатехин-3,5-дисульфокислота *337*
Пирофосфат-анион *340*
Пирофосфомевалоновая кислота *61*
Пирофосфорная кислота *352, 353*
Пирролидин-2-карбоиовая кислота *31*
L-2-Пирролидои-5-карбоновая кислота *31*
Пирролохинолинхинон *112*
Плазмалогены *149*
Пласдон *317*
Пластохиноны *113*
Плуроники *239*
Повидон *317*
Поларис *202*
Поли-rA *451*
Поли-rC *451*
Поли-rG *451*
Поли-rI *451*
Поли-rI·поли-rC *451*
Поли-rU *451*
Полиакрилгидразидагароза *450*
Поливинилпирролидон *472*
– иерастворимый *318*
– растворимый *317*
Поли-β-гидроксимасляиая кислота *41*
Полиен амфотерный *247*
Поликлар АТ *318*
Поли-L-лизин *450*
Полимексины *249*
Полимер *п*-изооктилполиоксиэтилен-феиолформальдегидиый *239*
Полимиксин В (сульфат) *250*
Полимиксин B_1 *249, 250*
Полимиксин B_2 *250*
Полимиксни E_1 *250*
Полимиксин E_2 *250*
Полиоксиэтиленалкилфеиолы *237*
Полиоксиэтилеинонилфеиол *238*
Полиоксиэтилен-*п*-(*трет*-октил)фенол *237*
C_{55}-Полипренолпирофосфат *66*
Полисорбаты *238*
Полифлоретинфосфат *272*
Полиэтиленгликоль *318*
Порфии *175*
Порфирин *а* *184*
Порфирии *аα* *184*
Порфирин *а*, α-форма *184*
Порфирин *аβ* *184*
Порфирии *Spirographis* *187*
Порфирин *Каммерера* *185*
Порфирин *Снаппера* *185*
Порфобилиноген *181*
10α-Прегнадиен-4,6-дион-3,20 *166*
9β,10α-Прегиадиен-4,6-диои-3,20 *166*
17α-Прегнаднеч-2,4-иио-20-[2,3-*d*]-изоксазолол-17 *171*
17α-Прегиа-2,4-диен-20-ино[2,3-*d*]-изоксазол-17-ол *171*
Прегиадиеи-1,4-трион-3,11,20-диол-17α,21 *170*
Прегнаидиол *165*
Прегиаи-3α,20α-диол *165*

5β-Прегнандиол-3α,20α *165*
5β-Прегнан-3α,20α-диол *165*
Прегнандион-11,20-триол-3α,17α,21 *169*
Прегнанон-20-тетрол-3α,11β,17α,21 *168*
Прегнан-3α,17α,21-триол-11,20-дион *169*
4-Прегнен-11β,21-диол-3,20-дион *168*
4-Прегнен-17α,21-диол-3,11,20-трион *168*
Прегнен-4-дион-3,20 *165*
Прегнен-4-дион-3,20-диол-11β,21 *168*
Прегнен-4-дион-3,20-ол-21 *168*
Прегнен-4-дион-3,20-триол-11β,17α,21 *168*
Прегненинолон *167*
4-Прегнен-21-ол-3,20-дион *168*
4-Прегнен-20α-ол-3-он *164*
Прегненолон *165*
Прегненолон-16α-карбонитрил *172*
Прегнен-4-он-3-ол-20α *164*
Прегнен-5-он-20-ол-3β *165*
4-Прегнен-11β,17α,21-триол-3,20-дион *168*
Прегнен-4-трион-3,11,20-диол-17α,21 *168*
Преднизолон *170*
Преднизон *170*
Префеновая кислота *50*
– соль Ba *50*
Пробенецид *288*
Провитамин D_2 *122*
Провитамин D_3 *103*
Прогестерон *165*
Прогестин *165*
Прозерин *271*
Прокаин *288*
Про-γ-каротин *196*
L-Пролилглицин *307*
Пролин *31, 342, 389, 394*
Промгестон *172*
Пропаналь *50*
Пропандиовая кислота *46*
Пропановая кислота *50*
Пропанолол *289*
Пропанон-2 *39*
Пропантриол-1,2,3 *43*
Пропен-2-овая кислота *38*
Пропен-1,2,3-трикарбоновая кислота *38*
Пропидийбромид *226*
н-Пропиламин *353*
н-Пропилгаллат *206*
6-Пропил-2-тиоурацил *288*
Пропилтиоурацил *288*
N-Пропионил(или ацетил)-L-лейцил-L-лейцил-L-аргининальдегид *273*
Пропионилхолинхлорид *31*
Пропионовая кислота *50, 343*
– соли Ca, K и Na *50*
Пропионовый альдегид *50*
Пропранолол *289*
– (–)-изомер *289*
Просион красный HE 3B *452*
Простагландин A_1 *290*
Простагландин A_2 *290*
Простагландин E_1 *289*
Простагландин E_2 *289*
Простагландин $F_{1\alpha}$ *290*
Простагландин $F_{2\alpha}$ *290*
Простагландины *289*
Простигмин *271*
Протогем *188*
Протогемин IX *189*
Протогемохром *177*
Протокатеховая кислота *50*
Протопорфирин 9 *185*
Протохлорофилл *191*
Профлавин *222*
Псевдоуридин *95*
Псевдоуридин C *83*
Псевдоуридин-3′-фосфат *96*
Псикофуранин *223*
6-Птеридилальдегид *274*

Птероевая кислота *113*
Птероилглутаминовая кислота *113, 344*
Птероил-L-глутаминовая кислота *113*
Птероилполиглутаматов производные *114*
Пуринтиол *220*
Пуромицин *229*
Пурпурат аммония *336*
Путресцин *31*
ПХМФС *279*
ПЭГ *236, 318*
ПЭИ-целлюлоза *435*

Рад *454 126*
Рамноза *396*
(d)TDP-Рамноза *140*
L-Рамноза *134*
L-Рамнозо-1,2-циклофосфат *140*
N-(α-L-Рамнопиранозилоксигидроксифосфинил)-L-лейцил-L-триптофан *274*
Раффиноза *137, 396*
Рацемическая винная кислота *40*
Регитин *292*
Резерпин *290*
Резорцин *400*
Рентген *454*
Ретиналь, полный *транс*-изомер *114*
Ретиналь$_2$ *103*
Ретинальдегид *114*
Ретинен *114, 422*
Ретинен$_2$ *103*
Ретиноевая кислота, полный *транс*-изомер *114*
Ретинол, полный *транс*-изомер *114*
Рибит *126*
CDP-Рибит *141*
Рибитол *126*
D-Рибитол-5-фосфат *64*
L-Рибитол-1-фосфат *64*
D-Рибит-5-фосфат *141*
Рибит-1-фосфат *141*
Рибит-1,2-циклофосфат *141*
2-D-Рибодезоза *125*
Рибоза *396*
D-Рибоза *126*
Рибозид оротовой кислоты *82*
Рибозилзеатин *204*
5-β-D-Рибозилурацил *83*
5-Рибозилурацил *83, 95*
α-D-Рибозилфосфат *64*
Рибозо-1,5-дифосфат *64*
D-Рибозо-5-фосфат *65*
α-D-Рибозо-1-фосфат *64*
D-Рибокетоза *126*
D-Рибоновая кислота *126*
Рибофлавин *115, 344*
Рибофлавин-5-сульфат *274*
Рибофлавин-5′-фосфат *119*
9-β-D-Рибофуранозиладенин *72*
9-β-D-Рибофуранозилгипоксантин *76*
9-β-D-Рибофуранозилгуанин *77*
3-β-D-Рибофуранозилоротовая кислота *82*
3-β-D-Рибофуранозилурацил *84*
3-β-D-Рибофуранозилцитозин-5′-дифосфат *86*
α-D-Рибофуранозо-1,5-дифосфат *64*
α-D-Рибофуранозо-1-пирофосфат-5-фосфат *68*
α-D-Рибофуранозо-1-фосфат *64*
Рибулоза *396*
D-Рибулоза *126*
Рибулозо-1,5-дифосфат *65*
D-Рибулозо-1,5-дифосфат *65*
D-Рибулозо-5-фосфат *65*
Ризобитоксин *207*
Рингера растворы *373, 477*
– – амфибии *374*
– – бикарбонатный (в модификации *Кребса–Хенселейта*) *373*
– – в модификации *Кребса* *373*
– – сердце лягушки *374*
Рифампин *223*

Рифампицин *223*
Рифампицин B *223*
Рицин *241*
Рицинолевая кислота *150*
Рицинолленновая кислота *150*
Ca(РНК) *344*
Mg(РНК) *344*
РНК *344*
- определение *467*
Роббина методика *405*
Робисона эфир *60*
Родамин B *379, 406*
Родамин 6G *406, 419*
D-Родеоза *134*
L-Родеоза *134*
Родизоновая кислота *380, 419, 425*
Родовиоласцин *197*
Родомицины *217*
Розанилин *402*
Розиловая кислота *144*
Ротенон *251, 258*
Ртути солн *412*
Рубеановая кислота *337*
Рубомицины *217*
Рутамицин *257*
Рутениевый красный *243*
Рутин *382*

Сакагучи реакция *393*
Салигенин-β-D-глюкопиранозид *310*
Салицилальдоксим *336*
Салицилгидроксамовая кислота *206, 253*
Салицилилфосфат *311*
Салицловая кислота *311, 338, 371*
Салицловый альдегид *385, 421*
Салицилсульфоновая кислота *411*
Салицин *310*
Сапогенины *414, 418*
Сапонин *236*
Саркозил *234*
Саркозин *31*
NDP-Сахар *139*
Сахар виноградный *129*
- древесный *125*
- мальтозный *137*
- молочный *137*
- тростниковый *138*
- фруктовый *133*
D-Сахарная кислота *129*
Сахароза *138, 468*
Сахароза-6′-фосфат *65*
Сахаролактон *275*
Сахаромолочная кислота *127*
Сбалансированные солевые растворы *374*
Связывания красителей метод *466*
Сегнетова соль *41*
Седогептулоза *135*
Седогептулозан *135*
D-Седогептулозо-1,7-дифосфат *65*
D-Седогептулозо-7-фосфат *66*
Секвестрол *339*
9,10-Секохолестатриен-5,7,10(19)-диол-3β,25 *102*
9,10-Секохолестатрнен-5,7,10(19)-ол-3β *120*
9,10-Секохолестатриен-5,7,10(19)-триол-1α,3β,25 *104*
9,10-Секо(5Z,7E)холестатриен-5,7,10(19)-триол-1α,3β,25 *171*
9,10-Секо(5Z,7E)-5,7,10(19)-холестатриен-1α,3β,25-триол *171*
Селенат калия *270*
Селенометионин *229*
Селехиловый спирт *144*
Семикарбазидгидрохлорид *381*
Семиноза *131*
Сервацелы *434-436*
Серебра аннонный тиосульфатный комплекс *207*
Серебра нитрат *207*
Серебра соли *376*
Серебряный краситель *377*

Серин *31, 342, 353, 389*
D_S-Серин *31*
L_S-Серин *31*
Серинфосфат *66*
Серная кислота *406, 413, 420, 474*
Сероводород *258*
– Na-соль *259*
Серотонин *20*
Серпазил *290*
Серы дигидрид *258*
Сефадексы *440*
Сефакрилы *444*
Сефарозы *443*
Сиаловая кислота *127*
CMP-Сиаловая кислота *141*
Сиверт *454*
Силиковольфрамовая кислота *423*
Симазин *252*
Симмса раствор *374*
Синефунгин *275*
Синий Т *301*
Синий порошок из кожи *307*
Синильная кислота *261*
– – K-соль *261*
Синкалин *35*
Синкурин *286*
Сирогем *189*
Сирогидрохлорин *185*
Сирохлорин *185*
Ситостерин α_1 *150*
Ситостерин β *150*
СИФ *32*
Сквален *150*
Слизевая кислота *127*
Сналпера порфирин *185*
Солевой эффект *348*
Солевые растворы *374*
Соляная кислота *370, 371, 403, 421, 474*
Соматостатин *32*
Соматотропинингибирующий фактор *32*
Сорбит *133, 396*
L-Сорбиноза *133*
D-Сорбитол *133*
Сорбоза *396*
L-Сорбоза *133*
L-Сорбуроновая кислота *131*
Спарсомицин *229*
Спенсера методика *464*
Спермидин *32*
Спермин *32*
Спинацен *150*
Спирамицин *233*
Спириллоксантин *197*
Спиронолактон *262*
(25R)-Спиростен-5-ол-3β *236*
Спирты полиоксиэтиленовые *236*
Споигоаденозин *213*
СП-Сефадексы *438*
СП-Сефароза CL-6B *438*
Сталлимицин *218*
Стандарты (первичные, вторичные) *350*
Станолон *160*
Стахиоза *138*
Стеариновая кислота *150*
Стеариновый альдегид *150*
Стеркобилин *181*
– солянокислый *182*
Стеркобилиноген *182*
Стерокс DJ *459*
∇^5-Стигмастен-3β-ол *150*
Стиломицин *229*
Стильбоэстрол *163, 256*
Стирилтетразолия хлорид *417*
Стрептоварицин *223*
Стрептомицин *230*
Стрептомицинсульфат *230*
Стрихнин *290*
G-Строфантин *244*
Судан черный *408*
Сузукациллин *246*
Суксаметонийбромид *286*

Сукцинил-CoA *115*
Сукцинил-S-CoA *115*
Сукцинилкофермент А *115*
Сукцинилхолин *286*
Сульфагуанидин *275*
Сульфадиазин *275*
Сульфадимезин *275*
Сульфамат аммония *423*
Сульфаниламид *275*
Сульфаниловая кислота *392*
– диазотированная *405, 409*
Сульфапиридин *275*
Сульфат аммония *371, 461, 463*
Сульфат-анион *340*
Сульфат железа(III) *402*
Сульфатиазол *275*
Сульфат кадмия *472*
Сульфат меди *404*
Сульфат церия *405*
Сульфат цинка *472*
Сульфид натрия *259*
3-Сульфино-L-аланин *36*
Сульфит натрия *271*
3-Сульфо-L-аланин *36*
Сульфобетаиновые ПАВ *235*
Сульфобетаины *235*
Сульфобромофталеин-S-GSH *451*
Сульфоксилат натрия *298*
Сульфоксин *336*
Сульфородамин В *326*
n-Сульфофенилмеркуриохлорид *279*
Суперинон *239*
Супраренин *12*
Сурамин *276*
Сфинганин *144*
4-Сфингенин *151*
Сфингозин *151, 155*
Сфингозинсульфат *151*
Сфингомиелин *151*
Счет "по *Черенкову*" *457, 458*
СЭ-целлюлоза *436*
Тайрон *337*
Тамоксифен *263*
Тартроновый полуальдегид *51*
Таурин *32, 389*
Тауродезоксихолат *173*
Тауродезоксихолевой кислоты Na-соль *234*
Таурохолевая кислота *173*
– Na-соль *234*
Твины *238*
ТГФК *115*
Теелин *163*
Теелол *163*
Теин *270*
Теноилтрифтороацетон *338*
2-Теноил-2-фураилметан *339*
Тенокс PG *206*
Теофиллин *276*
Терефталевый альдегид *392*
Террамицин *230, 344*
Тестостерон *161*
– ацетат *262*
Тетраацетат свинца *403, 418*
Тетрабромофеноловый синий *372*
Тетрабутиламмонийбромид *344*
Тетрагидробиоптерин *101*
Тетрагидроборат натрия *328*
Тетрагидрокортизол *168*
Тетрагидрокортизон *169*
Тетрагидроксиадипиновая кислота *127*
1,2,3,4-Тетрагидроксибутан *124*
1,3,4,5-Тетрагидроксициклогексанкарбоновая кислота *52*
Тетрагидромезобилин(*b*)-IXα *181*
Тетрагидропиранилбензиладенин *207*
5,6,7,8-Тетрагидроптероилглутаминовая кислота *115*
Тетрагидроптероилглутаминовая кислота *115*
L(–)-2,3,5,6-Тетрагидро-6-фенилимидазо[2,1-*b*]тиазол *270*

Тетрагидрофолиевая кислота *115*
н-Тетрадекадиеновой кислоты метиловый эфир *157*
н-Тетрадекановая кислота *147*
– метиловый эфир *157*
Тетрадекановой кислоты метиловый эфир *157*
н-Тетрадекатриеновой кислоты метиловый эфир *157*
н-Тетрадеценовой кислоты метиловый эфир *157*
Тетразолиевый нитросиний *300*
Тетразолиевый синий *301, 417*
Тетразолия соль *302*
Тетраиодид платины *393*
3,5,3′,5′-Тетраиодотиронин *33*
1,3,5,7-Тетракарбоксиметил-2,4,6,8-тетра(2′-карбокси)этилпорфин *185*
н-Тетракозановая кислота *146*
цис-15-Тетракозеновая кислота *148*
Тетракор *286*
Тетраметиламмонийхлорид *345*
3,7,11,15-Тетраметилгексадекановая кислота *152*
1,3,5,8-Тетраметил-2,4-дивинил-6,7-ди(2′-карбокси)этилпорфин *185*
1,3,5,8-Тетраметил-6,7-ди(2′-карбокси)этилпорфин *182*
Тетраметилендиамин *31*
1,3,5,7-Тетраметил-2,4,6,8-тетра-(2′-карбокси)этилпорфин *183*
1,3,5,8-Тетраметил-2,4,6,7-тетра-(2′-карбокси)этилпорфин *183*
Тетраметилтионинхлорид *332*
2,3,5,6-Тетраметил-*п*-фенилендиамин *294*
N,N,N′,N′-Тетраметил-*п*-фенилендиамин *301*
1,3,5,8-Тетраметил-2-формил-4-винил-6,7-ди(2′-карбокси)этилпорфин *187*
2,3,5,6-Тетраметилциклогексадиен-2,5-дион-1,4-тетраметил-*п*-бензохинон *295*
6′,7′,10,11-Тетраметоксиэметан *232*
Тетрамизол *270*
Тетранитрометан *329*
4,5,6,7-Тетрахлоро-2′,4′,5′,7′-тетраиодофлуоресцеин *332*
4,5,6,7-Тетрахлоро-2-трифторометилбензимидазол *259*
Тетраэтиламмонийхлорид *291*
Тетраэтилпирофосфат *276*
Тетраэтилтиурамдисульфид *264*
1,3,5,8-Тетракарбоксиметил-2,4,6,7-тетра(2′-карбокси)этилпорфин *186*
Тетродотоксин *244*
N^1-2-Тиазолилсульфаниламид *275*
Тиамин *424*
Тиамингидрохлорид *116*
Тиаминдифосфат *116*
Тиаминпирофосфат *116*
Тиаминхлоридгидрохлорид *116*
Тизелиуса методика *463*
Тиллманна реактив *426*
Тилоксапол *239*
3′-Тимидиловая кислота *83*
5′-Тимидиловая кислота *83*
Тимидин *82*
Тимидин-5′-дифосфо-α-D-глюкопираноза *140*
Тимидин-5′-дифосфо-β-L-рамноза *140*
Тимидин-5′-трифосфат *83*
Тимидин-3′-фосфат *83*
Тимин *83, 94*
Тиминдезоксирибозид *82*
Тиминдезоксирибозо-5′-трифосфат *83*
Тиминдезоксирибозо-3′-фосфат *83*
Тиминдезоксирибозо-5′-фосфат *83*
Тиминоза *125*
Тимоловый синий *372, 379*
Тимолфталеин *372*
Тимолфталеинфосфат, Na_2-соль *313*

Тиобарбитурат *404*
2-Тиобарбитурат натрия *403*
Тиогликолевая кислота *318*
- Na-соль *319*
6-Тиогуаиии *224*
Тиокарбамид *339*
Тиолгистидинтриметилбетаин *37*
Тиометилгалактозид *308*
Тиомочевнна *339*
Тионеин *37*
Тиооктановая кислота *107*
Тиосульфат-анион *340*
Тиоурацил *224*
2-Тиоурацил *95*
2-Тиоуридин *96*
4-Тиоуридин *96*
Тиофентоннатрий *284*
Тиоцианат-анион *340*
2-Тиоцитидин *98*
Тиоэтаноламин *35*
Тиоэтил-α-D-глюкозид *310*
Тиоэтил-β-D-глюкозид *311*
Тирамин *32*
Тирода раствор (кишечник кролика) *374*
Тирозин *32, 342, 389, 391*
L-Тирозинэтилатгидрохлорид *307*
Тироксин *259, 405*
L-Тироксин *33*
Тирон *337*
Тироцидин *250*
Тироцидин А *250*
Тироцидин В *250*
ТЛХК *276*
L-(1-Тозиламидо-2-фенил)этилхлорометилкетон *277*
п-Тозил-L-аргининметилатгидрохлорид *307*
Тозиллизинхлорометилкетон *276*
Тознлфенилаланинхлорометилкетон *277*
Тойомицин *225*
α-Токоферилацетат *117*
Токоферол *117*
α-Токоферол *117*
β-Токоферол *117*
γ-Токоферол *117*
δ-Токоферол *117*
о-Толидин *391*
Толуидиновый синий *376, 404*
α-Толуиловая кислота *51*
Толуол-3,4-дитиол *338*
L-1-(*п*-Толуолсульфонил)амидо-2-фенилэтнлхлорометилкетон *277*
α-N-Толуол-*п*-сульфонил-L-аргинин-метилатгидрохлорид *307*
α-Толуолсульфонилфторид *277*
п-Толуолсульфоновая кислота *409, 410*
Торазин *292*
α,α-Трегалоза *138*
Трезил *447*
D-Треоза *124*
D-Треозо-2,4-днфосфат *277*
Треонин *33, 389*
L-Треонин *33*
L-*алло*-Треонин *33*
Триалкилсвинец *259*
Триамцннолон *170*
Триацетин *315*
Триацилглицерин *151*
Трибутилоловохлорид *259*
Трибутилэтиламмонийбромид *344*
Трибутирин *315*
1,2,3-Тригидроксибензол *300*
2,4а,7-Тригидрокси-1-метил-8-метиленгиббен-3-карбон-1,10-овой кислоты 1,4-лактон *202*
11β,17α,21-Тригидроксипрегнадиен-1,4-дион-3,20 *170*
11β,17α,21-Тригидрокси-1,4-прегнадиен-3,20-дион *170*
1,2,3-Тригидроксипропан *43*
2,6,8-Тригидроксипурин *77*

3α,7α,12α-Тригидроксихолаиовая кислота *173*
3,4,5-Тригидроксицнклогексен-1-карбоновая кислота *53*
9α,11α,15(S)-Тригидрокси-5-*цис*,13-*транс*-простадиеновая кислота *290*
9α,11α,15(S)-Тригидрокси-13-*транс*-простеновая кислота *290*
Тригидроксиэстрин *163*
Триглицерид *151*
Трнглицин *305*
Тридекановой кислоты метиловый эфир *157*
н-Тридекановой кислоты метиловый эфир *157*
Триен *339*
2,3,5-Триодобензойная кислота *207*
3,5,3′-Трииодо-L-тиронии *33*
2,7,9-Трикарбокси-1Н-пирроло-[2,3-*f*]хинолин-4,5-диои *112*
Трнлостан *262*
Триметиламин *33, 353, 370*
Триметиламиноксид *33*
γ-Триметил-β-гидроксибутиробетаии *26*
Триметилгидрохинон *301*
N^2,N^2,7-Триметилгуанозин *93*
Триметилдиамин *370*
транс,*транс*-3,7,11-Триметилдодека-триен-2,6,10-ил-1-дифосфат *66*
2,4,6-Триметилпиридин *361*
5,7,8-Триметилтокол *117*
4,4,14-Триметилхолестадиен-8,24-ол-3β *146*
4,4,14-Триметилхолеста-8,24-диен-3β-ол *146*
3,4,5-Триметоксибензоилметилрезерпат *290*
Трииактин *249*
Тринитробеизолсульфоновая кислота *330*
1,2,3-Триоксибензол *272*
Трипаранол *263*
Триптазаи *230*
Триптамии *34*
Трнптофан *34, 342, 389, 392*
Трис *342, 370*
Трис(гндроксиметил)амнометан *353, 358, 363, 370*
Трис(гидроксиметил)метиламин *342*
N-((Трисгидроксиметил)метил)-2-аминоэтансульфоновая кислота *352*
N-((Трисгидроксиметил)метил)глицин *353, 362*
N-Трис(гидроксиметил)метилглицин *342*
N-((Трисгндроксиметил)метнл)глицин *362*
Трискарбоксиметилэтилендиамин *453*
Тритоны *237-239, 459*
Тритосол *459*
Трифенилтетразолий *296*
Трифенилтетразолийхлорид *302, 398, 417*
2,3,5-Трифенилтетразолийхлорид *302*
Трифосфат-аиион *340*
Трифосфоинозитид *151*
Трифосфопиридиннуклеотид *110*
п-Трифторометоксикарбонилцианид-фенилгидразон *260*
4,4,4-Трифторо-1-(2-тиенил)-1,3-бутаидион *338*
Трихлорид висмута *423*
Трихлорид сурьмы *421, 422, 423*
2,3′,6-Трихлороиндофеиол *302*
2,6,8-Трихлоропурин *277*
Трихлороуксусная кислота *371, 421, 473*
– анилид *400*
2,3′,6-Трихлорофенолиндофенол, Na-соль *302*
2,4,5-Трихлорофеноксиуксусная кислота *204*
Трицин *342*
Триэтаноламин *344, 345, 349, 369, 370*
Триэтиламин *353*
Триэтилеитетрамин *339*

Тропеолин О *372*
Тропеолин ОО *372*
ТТС *302, 417*
ТТФБ *259*
ТТХ *398*
Туберкулостеариновая кислота *152*
d-Тубокураринхлорид *291*
Тубокураринхлорид *291*
Тубулозин *232*
Туникамицин *277*
ТФТ *417*
ТФХК *277*
ТХУ *421*
ТЭА-хлорид *291*
ТЭАЭ-целлюлоза *435*
ТЭПФ *276*

Уабаин *244*
Убихиноны *117*
Углерода диоксид *370, 477*
Угольная кислота *352, 353*
Уксусная кислота *51, 343, 352, 357, 369, 370, 474*
- - соли K, NH_4 и Na *51*
Уксусный альдегид *422*
Уксусный ангидрид *330, 421*
н-Ундекановой кислоты метиловый эфир *157*
Ундекапренилдифосфат *66*
Ундекапренолпирофосфат *66*
Уранилацетат *413*
Урацил *84, 95*
Урацил-6-карбоновая кислота *82*
Урацилрибозид *84*
5-Уреидогидантоин *13*
Уреидоянтарная кислота *25*
Уретан *291*
2′-Уридиловая кислота *84*
3′-Уридиловая кислота *84*
5′-Уридиловая кислота *85*
Уридин *84, 95*
Уридин-5′-дифосфат *96*
Уридин-5′-днфосфо-2-ацетамидо-2-дезокси-α-D-галактопираноза *140*
Уридин-5′-дифосфо-2-ацетамидо-2-дезокси-α-D-глюкопираноза *140*
Уридин-5′-дифосфо-α-D-галактопираноза *140*
Уридин-5′-дифосфо-α-D-галактуроновая кислота *140*
Уридин-5′-дифосфо-α-D-глюкопираноза *139, 140*
Уридин-5′-дифосфо-α-D-глюкуроновая кислота *141*
Уридин-5′-дифосфо-α-D-ксилопираноза *141*
Уридин-5′-трифосфат *84, 96*
Уридин-2′-фосфат *84, 96*
Уридин-3′-фосфат *84, 96*
Уридин-5′-фосфат *85, 96*
Уринпорфирин *185*
Уро I *185*
Уро III *186*
Уробилин *180*
Уробилин-IXα *180*
l-Уробилин *181*
Уробилиноген *180*
l-Уробилиноген *182*
Уроген III *186*
Уроглаффин *471*
Уроканиновая кислота *34*
Урокановая кислота *34*
Уропорфирин I *185*
Уропорфирин III *186*
Уропорфириноген III *186*
Уророзейна тест *384*
Уроспектрин *186*
Урсин *308*
Утеровердин *179*
УФ-свет *390, 392, 395, 397, 408, 412, 413, 414, 422, 423, 424, 425*

ФАД *344*
Фактор, тормозящий освобождение соматотропина *32*
Фарнезилдифосфат *66*
Фарнезилпирофосфат *66*
Фельгена реакция *413*
Феназинметосульфат *295, 297, 303*
о-Фенантролин *259, 339, 426*
о-Фенантролингидрохлорид *426*
1,10-Фенантролин *259, 339*
1,10-Фенантролины *338*
Фенацилхлорид *279*
Фенетиловый спирт *224*
Фенилаланин *34, 342, 389, 393*
1-Фенил-2-аминопропан *282*
2-Фенил-5-(4-бифенилил)-1,3,4-оксадиазол *459*
Фенилгидразин *424*
Фенилгидразонмалононитрил *256*
Фенилглиоксаль *330*
м-Фенилендиамин *399*
о-Фенилендиамин *381, 403*
п-Фенилендиамин *304*
м-Фенилендиаминдигидрохлорид *399*
о-Фенилендиамингидрохлорид *403*
Фенилизотиоцианат *331, 395*
Фенилметансульфонилфторид *277*
l-1-Фенил-2-метиламинопропанол *292*
Фенилмолочная кислота *51*
Фенилмочевины *252*
Фениловые эфиры *315*
Фенилпантотенон *278*
N-Фенил-N′-(4-пиридил)мочевина *207*
Фенилпировиноградная кислота *51*
– – соль Na *51*
транс-3-Фенилпропеновая кислота *45*
Фенил-β-D-тиогалактозид *278*
Фенилтиогидантоин *331*
Фенилтиогидантоины *394*
Фенилтиокарбамид *278*
Фенилтиокарбамоильные производные *331*
Фенилтиомочевина *278*
Фенилуксусная кислота *51*
Фенилуретан *259*
Фенилфосфат, Na_2-соль *313*
2-Фенилциклопропиламингидрохлорид *27*
2-Фенилэтанол *224*
Фенилэтилкарбамат *259*
Фенобарбитон *283*
Феноксибензамин *291*
Фенол *51, 385*
Феноловый красный *372, 380, 416*
п-Фенолсульфонат натрия *416*
Фенолфталеин *313, 372*
Фенолфталеин-β-D-глюкопиранозидуроновая кислота *310*
Фенолфталеин-β-D-глюкуронид *310*
Фенолфталеиндифосфат *313*
Фенолфталеинфосфат, Na_4-соль *313*
Фентиазин *453*
Фентоламин *292*
Феопорфирин c_1 *192*
Феопорфирин c_2 *193*
Феофитин *a* *191*
Феофитин *b* *192*
Феофорбид c_1 *192*
Феофорбид c_2 *193*
Феррипротогем IX *188*
Феррицианид калия *296, 387, 402, 405, 410, 422, 423, 424*
Ферропротогем IX *188*
Ферропротопорфирин *188*
Феррохлорокруоропорфирин *190*
Ферроцианид калия *384, 413*
Физетин *382*
Физический эквивалент рентгена *454*
Физостигмин *278*
Физостигмина сульфат *278*
Фиколл 400 *471*
Фикоцианобилин *182*
Фикоэритробилин *182*
Филипины (I–IV) *250*

Филлохинон *118*
Фисцинт *459*
Фитановая кислота *152*
Фитиновая кислота *63*
Фитогемагглютинин *241*
Фитоин *195*
Фитофлуин *195*
ФИТЦ *331*
Фишера формулы *123*
ФКЦФ *260*
Флавиановая кислота *278*
Флавинадениндинуклеотид *118, 344*
– Na-соль *118*
Флавинмононуклеотид *119, 344*
– Na-соль *119*
– – гидрат *119*
Флавоксантин *198*
ФлИТЦ *331*
Флоретин *244*
Флоридцин *245*
Флорицин *245*
Флороглюцин *400, 401*
Флудрокортизон *170*
Флуокортолон *170*
Флуоксиместерон *162*
Флуорескамин *383, 390, 407*
Флуоресцеин *331*
Флуоресцеиндиацетат *315*
Флуоресцеинизотиоцианат *331*
Флуоресцирующие гидроксипроизводные *381*
ФМН *344*
ФМСФ *277*
Фолиевая кислота *113, 344*
Фолина реагент *391, 421, 425*
Фолина–Чокальтеу реагент *466*
Фолиновая кислота SF *119*
Фолликулин *163*
Формальдегид *52, 378*
Формальдегидогенная реакция *417*
Формамид *378*
2-Формамидо-N-рибозилацетамид-5′-фосфат *66*
N-Формилгидроксиаминоуксусная кислота *225*
Формилглицинамидрибонуклеотид *66*
4-Формилдейтерогемохром *177*
N′-Формилкинуренин *26*
Формилпропионовая кислота *55*
5-Формилтетрагидроптероилглутаминовая кислота *119*
– – Ca-соль *119*
10-Формилтетрагидроптероилглутаминовая кислота *120*
10-Формилтетрагидрофолиевая кислота *120*
N-Формимино-L-глутаминовая кислота *35*
Формицины *224*
Фосфат аммония двухзамещенный *371*
– – однозамещенный *371*
Фосфат-анион *340*
Фосфатидальсерин *149*
Фосфатидальхолин *149*
Фосфатидальэтаноламин *149*
Фосфатидилглицерин *152*
Фосфатидил-1-инозит *152*
1-Фосфатидилинозит-4-фосфат *145*
1-Фосфатидилмиоинозит-4,5-дифосфат *151*
Фосфатидилсерин *153*
Фосфатидилхолин *153*
3-*sn*-Фосфатидилхолин *153*
Фосфатидилэтаноламин *154*
Фосфатидная кислота *154*
L-α-Фосфатидная кислота *154*
Фосфат калия однозамещенный *371*
Фосфат натрия двухзамещенный *371*
– – однозамещенный *371*
Фосфатные буферные растворы *368*
3′-Фосфо-5′-аденилилсульфат *73*
3′-Фосфоаденозин-5′-фосфосульфат *73*
Фосфоамидон *274*
Фосфоаргинин *66, 344*

3-Фосфогидроксипировиноградная кислота *67*
Фосфогликолевая кислота *67*
Фосфоглицеральдегид *58*
2-Фосфоглицериновая кислота *67, 344*
3-Фосфоглицериновая кислота *67*
D(+)-2-Фосфоглицериновая кислота *67*
D(-)-3-Фосфоглицериновая кислота *67*
6-Фосфоглюконовая кислота *67*
D-1-Фосфоглюкуроновая кислота *67*
О-Фосфогомосерин *60*
Фосфоенолпировиноградная кислота *68, 344*
Фосфокреатин *68, 344*
Фосфолипиды, эфиры *144*
Фосфомевалоновая кислота *68*
5-Фосфомевалоновая кислота *68*
Фосфомолибдат *404*
Фосфон D *207*
(N-Фосфонометил)глицина изопропиламмониевая соль *202*
Фосфопантетеин *64*
4-Фосфопантетеин *64*
4-Фосфопантотеновая кислота *68*
Фосфопировиноградная кислота *68*
Фосфорибозилдифосфат *68*
Фосфорибозилпирофосфат *68*
5-Фосфорибозил-1-пирофосфат *68*
Фосфорная кислота *352, 353, 420, 474*
– – эфиры *411*
Фосфорновольфрамовая кислота *419, 423*
Фосфорномолибденовая кислота *384, 406, 419*
Фосфорномолибденовольфрамовая кислота *421*
О-Фосфосерин *66*
Фосфохолин *70, 144*
5-Фосфошикимовая кислота *69*
Фосфоэтаноламин *56, 144*
Фотоокисляющие красители *331*
С-Фрагмент *37*
Фреиозин *155*
Фруктоза *396*
D-Фруктоза *133*
D-Фруктозо-1,6-дифосфат *69*
D-Фруктозо-2,6-дифосфат *69*
D-Фруктозо-1-фосфат *69*
D-Фруктозо-6-фосфат *69*
Фруктуроновая кислота *130*
Фталат калия *355*
Фталевая кислота *352, 399*
о-Фталевый альдегид *393*
ФТГ *331*
ФТК-производные *331*
Фторид калия *231*
Фторид натрия *231, 271*
9α-Фторогидрокортизон *170*
5-Фторо-2′-дезоксиуридин *225*
5-Фтородезоксиуридин *225*
9α-Фторо-11β,17β-дигидрокси-17α-метиландростен-4-он-3 *162*
9α-Фторо-11β,17β-дигидрокси-17α-метил-4-андростен-3-он *162*
6α-Фторо-11β,21-дигидрокси-16α-метилпрегна-1,4-диен-3,20-дион *170*
5-Фторо-2,4-дигидроксипиримидин *225*
1-Фторо-2,4-динитробензол *323*
9α-Фторокортизол *170*
Фторолимонная кислота *279*
– – Ва-соль *279*
6α-Фторо-16α-метилпрегнадиен-1,4-дион-3,20-диол-11β,21 *170*
1-Фторо-2-оксоянтарная кислота *279*
9α-Фторопрегнадиен-1,4-дион-3,20-тетраол-11β,16α,17α,21 *170*
9α-Фторопрегнен-4-дион-3,20-триол-11β,17α,21 *170*
9α-Фторо-11β,16α,17α,21-тетрагидрокси-1,4-прегнадиен-3,20-дион *170*
6α-Фторо-11β,17α,21-тригидрокси-16α-метилпрегнадиен-1,4-дион-3,20 *169*

9-Фторо-11β,17,21-тригидрокси-16α-метилпрегнадиен-1,4-дион-3,20 *169*
9-Фторо-11β,17,21-тригидрокси-16α-метилпрегна-1,4-диен-3,20-дион *169*
9-Фторо-11β,17,21-тригидрокси-16β-метилпрегнадиен-1,4-дион-3,20 *169*
9α-Фторо-11β,17α,21-тригидрокси-4-прегнен-3,20-дион *170*
5-Фторотриптофан *231*
6-Фторотриптофан *231*
Фтороуксусная кислота *278*
– – Na-соль *278*
5-Фтороурацил *225*
(–)-*эритро*-Фтороцитрат *279*
β-Фторощавелевоуксусная кислота *279*
Фузидиевая кислота *231*
Фузикоцин *250*
Фукоза *396*
D-Фукоза *134*
GDP-Фукоза *140*
L-Фукоза *134*
Фукоксантин *199*
Фумаровая кислота *52, 343, 352*
– – соль Na *52*
Фунгихромин *247*
Фурандион-2,5 *326*
Фуранкарбоновая кислота *352*
Фурно 309 *276*
Фурта-Херманна реагент *381*
N^6-Фурфуриладенин *205*
6-Фурфуриламинопурин *205*
Ф-целлюлоза *436*

Хадацидин *225*
ХАПС *236*
Харден-Янга эфир *69*
Хардеропорфирин *187*
ХАФ *279*
Хелатон III *339*
Хелекс 100 *432*
Хемихолинийбромид *245*
Хенкса раствор *374*
Хенодезоксихолевая кислота *173*
Хеуорса формулы *123*
Химиловый спирт *144*
Химостатин *274*
Хинакрин *252*
Хинин *260, 379, 411*
Хинная кислота *52*
Хинол *294*
Хинолиновая кислота *35*
8-Хинолинол *336*
Хитобиоза *136*
Хитозамин *129*
ХИФК *260*
Хлор *391, 395*
Хлорамфеникол *231, 452*
Хлорид аммония *371*
Хлорид железа(III) *403, 405, 406, 410, 411, 422*
– – подкисленный раствор *407*
Хлорид-ион *369*
Хлорид кобальта *384*
Хлорид олова *422*
Хлорид цезия *469*
Хлорид цинка *422*
Хлорин a_2 *187*
Хлорины *177*
Хлормадинон *167*
Хлормекват *208*
Хлорная кислота *411, 413, 473, 474*
Хлорное железо *381, 384*
α-Хлороацетофенон *279*
ω-Хлороацетофенон *279*
м-Хлоробензгидроксамовая кислота *253*
2-Хлоро-4,6-бис(этиламин)-*симм*-триазин *252*
4-Хлоро-2-бутирил-N-(3-хлорофенил)карбамат *260*
Хлорогемин *189*
6-Хлоро-17-гидрокси-1α,2α-метилен-прегнадиен-4,6-дион-3,20 *263*

2-Хлоро-9-гидроксифлуорен-9-карбоксилат *206*
Хлоро-ИФК *260*
Хлорокруорогемин *190*
Хлорокруоропорфирин *187*
п-Хлоромеркуриобензойная кислота *266*
п-(Хлоромеркурио)феиилсульфокислота *279*
Хлоромицетин *231*
N-(2-Хлоро-4-пиридил)-N′-(замещенный или незамещенный фенил)мочевины *207*
(4-Хлоро-О-толил)оксиуксусная кислота *204*
Хлоротрианизеи *164*
Хлоротрис(*п*-метоксифенил)этилен *164*
3-(*п*-Хлорофенил)-1,1-диметилмочевина *261*
N-(4-Хлорофенил)-N′,N′-диметилмочевина *261*
Хлорофенилкарбаматы *255*
о-Хлорофенолиндо-2,6-дихлорофенол *302*
Хлорофеноловый красный *372, 380*
Хлороферрипротопорфирин *189*
Хлорофилл *a* *190*
Хлорофилл *b* *191*
Хлорофилл c_1 *192*
Хлорофилл c_2 *192*
Хлорофилл *d* *193*
Хлорофиллид *a* *191*
Хлорофилл *c* из *Chlorobium* (660) *193*
Хлорофилл из *Chlorobium* (650) *194*
Хлорофлуренола метильное производное *206*
5-Хлорофураи-2-карбоновая кислота *280*
Хлорохолинхлорид *208*
2-Хлоро-4-этиламино-6-изопропиламин-*симм*-триазин *252*
N-(2-Хлороэтил)-N-(1-метил-2-феноксиэтил)бензиламии *291*
(2-Хлороэтил)триметиламмонийхлорид *208*
2-Хлороэтилфосфоновая кислота *208*
Хлорпромазин *260, 292*
Хлорпрофам *260*
Хлортетрациклин *230*
Хлорфонийхлорид *207*
ХММ *261*
Холаловая кислота *173*
3-[(3-Холамидопропил)диметиламмоний]-1-пропансульфонат *236*
Холевая кислота *173, 452*
– – Na-соль *234*
Холеиновые кислоты *173*
Холекальциферол *120*
Холестадиен-5,7-ол-3β *103*
Холеста-5,7-диен-3β-ол *103*
5α-Холестанол-3β *144*
5β-Холестанол-3β *146*
Холестанол *144*
Холестен-5-ол-3β *154*
Δ^5-Холестен-3β-ол *154*
Холест-5-ен-3β-ол *154*
Холестерилгемисукцинат *452*
Холестерин *154, 414*
Холестериновые эфиры *154*
Холилглицин *172*
Холилтаурин *173*
Холии *35, 384*
– цитидинфосфатное производное *35*
– эфиры *384*
CDP-Холин *35*
Холинфосфат *70, 452*
Холинфосфорная кислота *70*
Хольтфретера раствор (амфибии и рыбы) *374*
Хомидийбромид *226*
Хондрозамингидрохлорид *128*
Хондрозин *138*
Хоризмовая кислота *52*
Хризантемаксантин *198*
Хромат серебра *412*
Хромомицин A_3 *225*
Хромотроповая кислота *337*

цАМФ *74*
Цветные реакции *423*
Цвиттергенты *236*
ЦГЭС *353*
Целлексы *434–436*
Целлобиоза *138, 396*
Целлоза *138*
ECTEOLA-Целлюлоза *435*
Цепаколхлорид *235*
Цепринхлорид *235*
Церамидная группа *146*
Церамид-1-фосфохолин *151*
Цереброза *128*
Цереброзиды *155*
Цериловый спирт *155*
Церотин *155*
Церуленин *280*
Цетавлон *235*
Цетамоний *235*
Цетиламин *235*
Цетиловый спирт *155*
Цетилпиридинийхлорид *235*
Цетилтриметиламмонийбромид *235*
Цетримид *235*
Цефалоспорин С *280*
Цианид-анион *340*
Цианид калия *261, 413*
Циановодород *261*
Циановодородная кислота *261*
Цианокетон *262*
Цианокобаламин *121*
Цианокоб(III)аламин *121*
Цибакрон голубой F3G-A *452*
2′,3′-Цикло-AMP *73*
2′,3′-Цикло-CMP *87*
2′,3′-Цикло-GMP *79*
3′,5′-Цикло-AMP *74*
3′,5′-Цикло-GMP *79*
Циклогександион-1,2 *332*
2-(Циклогексиламино)этансульфоновая кислота *353*
1-Циклогексил-3-(2-морфолинил-4-этил)карбодиимидметил-*п*-толуолсульфонат *326*
Циклогексимид *232*
Циклолейцин *245*
α-Циклопропил-α-(*п*-метоксифенил)-5-пиримидинметанол *201*
Циклосерин *280*
Циммермана реакция *414*
Цинерубин *217*
Цинкофен *218*
Ципротерон *263*
Циркулин *249*
Цистамин *35*
Цистатионин *35*
алло-Цистатионин *35*
L-Цистатионин *35*
L-*алло*-Цистатионин *35*
Цистеамин *35, 319*
Цистеин *36, 319, 342, 389, 403*
Цистеингидрохлорид *413*
Цистеиновая кислота *389*
L-Цистеиновая кислота *36*
L-Цистеинсульфиновая кислота *36*
Цистин *36, 389*
мезо-Цистин *36*
Цистинамин *35*
Цитарабин *213*
2′-Цитидиловая кислота *86*
3′-Цитидиловая кислота *86*
5′-Цитидиловая кислота *87*
Цитидин *86, 97*
Цитидин-5′-дифосфат *86, 98*
Цитидин-5′-дифосфатглицерин *43*
Цитидин-5′-дифосфатдиглицерид *155*
Цитидин-5′-дифосфорибит *141*
Цитидин-5′-дифосфохолин *35*
Цитидин-5′-дифосфоэтаноламин *37*
Цитидин-5′-монофосфо-N-ацетилнейраминовая кислота *141*
Цитидин-5′-(L-рибит-1-дифосфат) *141*

Цитидин-5′-трифосфат *86, 98*
Цитидин-2′-фосфат *86, 98*
Цитидин-3′-фосфат *86, 98*
Цитидин-5′-фосфат *87, 98*
Цитидин-5′-фосфо-N-ацетил-β-D-нейраминовая кислота *141*
Цитидин-2′,3′-циклофосфат *87*
Цитогем *188*
Цитозин *87, 97*
Цитозинарабинозид *213*
Цитозин-β-D-арабинофуранозид *213*
Цитозин-β-D-арабинофуранозид-5′-трифосфат *213*
Цитозиндезоксирибозид *85*
Цитозиндезоксирибозо-5′-трифосфат *85*
Цитозиндезоксирибозо-3′-фосфат *85*
Цитозиндезоксирибозо-5′-фосфат *85*
Цитозинрибозид *86*
Цитопорфирин *184*
Цитохалазины *245*
ε-Цитракониллизин *327*
Цитраконовый ангидрид *332*
Цитрат натрия *356*
Цитроворный фактор *119*
Цитруллин *36*
ЦТАБ *235*

ЧАЭ-сефадексы *438*
ЧАЭ-целлюлоза *435*
Чеппелла метод *477*
Чиновоза *134*

Шикимовая кислота *53*
Шиффа реагент *407, 413*
Шиффа реакция *402, 413, 415*
Шумма гематопорфироидин *185*
Шумма копратопорфирин *182*

Щавелевая кислота *53, 343, 352, 371*
Щавелевоуксусная кислота *53*
Щавелевоянтарная кнслота *54*
Щелочная обработка *415*

Эгистерон *167*
ЭДТА *339*
Эзерин *278*
н-Эйкозановая кислота *142*
Эйкозапентаен-5,8,11,14,17-овой кислоты метиловый эфир *158*
Эйкозатетраен-5,8,11,14-овая кислота *142*
Эйкозатетраен-8,11,14,17-овой кислоты метиловый эфир *158*
Эйкозатриеновой кислоты метиловый эфир *158*
Элаидиновая кислота *148*
Эластиналь *274*
Электрокортин *167*
Электронвольт *454*
Элеостеариновая кислота (α или *цис*) *156*
Элеостеариновая кислота (β или *транс*) *156*
Эллмана реагент *323*
Элоксантин *197*
Эмазол 4130 *238*
Эметин *232*
α-Эндорфин *37*
β-Эндорфин *37*
γ-Эндорфин *37*
δ-Эндорфин *37*
Эндорфины *37*
[Leu^5]-Энкефалин *37*
[Met^5]-Энкефалин *37*
Энкефалиины *37*
[D-Ala^2,Met^5]-Энкефалинамид *37*
Эозин Y *331*
Эпиандростерон *161*
Эпинефрин *12*
D-Эпирамноза *134*
Эпихлорогидрин *471*
5,8-Эпоксилютеин *198*

2,3-Эпокси-4-оксододекадиен-7,10-амид *280*
Эргокальциферол *122*
Эргостерин *122*
Эргостерол *122*
L-Эрготионеин *37*
Эриохром черный Т *339*
Эритрит *124*
изо-Эритрит *124*
мезо-Эритрит *124*
D-Эритроза *124*
D-Эритрозо-4-фосфат *70*
β-Эритроидин *284*
Эритромицин *233*
Эркальциол *122*
Эрла раствор *374*
Эрлиха реагент *386, 387, 392*
Эруковая кислота (*цис* или *транс*) *156*
Эстрадиол-17α *162*
Эстрадиол-17β *163*
17β-Эстрадиол *163*
α-Эстрадиол *163*
β-Эстрадиол *162*
Эстрадиолгемисукцинат *452*
Эстратриен-1,3,5-диол-3,17α *162*
1,3,5-Эстратриен-3,17α-диол *162*
Эстратриен-1,3,5-диол-3,17β *163*
1,3,5-Эстратриен-3,17β-диол *163*
1,3,5-Эстратриен-3-ол-17-он *163*
Эстратриен-1,3,5-он-17-ол-3 *163*
Эстратриен-1,3,5-триол-3,16α,17β *163*
1,3,5-Эстратриен-3,16α,17β-триол *163*
Эстрин *1633*
Эстрон *163*
Этамокситрифетол *262*
Этамонхлорид *291*
Этаналь *38*
Этанамид *16*
Этандиаль *42*
Этандиовая кислота *53*
Этандиол-1,2 *54*
Этановая кислота *51*
Этановый ангидрид *330*
Этанол *54, 473*
Этаноламии *37, 353, 384, 389*
– цитидинфосфатное производное *37*
3-Этаноламии *352*
CDP-Этаноламин *37*
Этаноламинофосфорная кислота *56*
Этаноламинплазмалоген *149*
Этаноламинфосфат *452*
Этен *208*
1-Этенилпирролидинона-2 полимеры *317*
Этефон *208*
Этидийбромид *226, 377*
Этиламин *353*
S-Этилгомоцистеин *233*
1-Этил-1,4-дигидро-7-метил-4-оксо-1,8-нафтиридин-3-карбоновая кислота *221*
1-Этил-3-(3-диметиламинопропил)карбодиимидгидрохлорид *326*
Этилен *208*
Этиленгликоль *54*
Этилендиамин *339, 352, 353, 410*
Этилендиамиитетрауксусная кислота *339, 370*
– – Na_2-соль *340*
(Этилендиокси)диэтилендинитрилотетрауксусная кислота *340*
1,1′-Этилен-2,2′-дипиридилийдибромид *203*
Этиленимин *333*
5-Этил-5-изоамилбарбитурат натрия *251*
5-Этил-5-изоамилбарбитуровая кислота *283*
Этилкарбамат *291*
Этилкарбанилат *259*
N-Этилмалеимид *281*
5-Этил-5-(1-метилбутил)барбитуровой кислоты Na-соль *284*

1-Этил-6,7-метилендиокси-4-хинолон-3-карбоиовая кислота *222*
N-Этилморфолин *344, 349, 352, 362*
N-Этил-α-нафтиламин *385*
Этиловый спирт *54*
Этилтио-α-D-глюкозид *310*
Этилтио-β-D-глюкозид *311*
Этил-1-тио-α-D-глюкопиранозид *310*
Этил-1-тио-β-D-глюкопиранозид *311*
Этилхлорофиллид *a* *191*
Этилхлорофиллид *b* *192*
17α-Этилэстрен-4-ол-17β *162*
17α-Этилэстр-4-еи-17β-ол *162*
Этилэстренол *162*
17α-Этинил-4-андростен-17β-ол-3-он *167*
17α-Этиниландростен-4-он-3-ол-17β *167*
17-Этинилтестостерон *167*
Этинилэстрадиол *164*
17α-Этинилэстратриен-1,3,5(10)-диол-3,17β *164*
17α-Этинилэстра-1,3,5(10)-триен-3,17β-диол *164*
17α-Этинилэстрен-4-ол-17β *166*
Этинодиол *167*
Этионин *233*
Этиохоланолон *161*
Этокаин *288*
Этоксимуравьиной кислоты ангидрид *268, 324*
Эфедрин *292, 353*
l-Эфедрин *292*
Эфиры полиоксипропиленполиоксиэтиленовые *239*
Эфиры полиоксиэтиленовые на основе производных сорбита *238*

Яблочная кислота *54, 343, 352*
Янтарная кислота *54, 343, 352, 357, 371*
– – ангидрид *54, 333*
– – соли K и Na *54*
Янтарный ангидрид *54, 333*
Янтарный полуальдегид *55*
Янус зеленый B *295*

A 23187 *246*
ABA *201*
ACES *342*
ACh *17*
ADA *342*
ADA *352*
Ado *72*
ADP *72, 344*
ADP-β-S *209*
AG MP-1 *428*
AIA *282*
AICA *14*
Ala *13*
AMO 1618 *201*
AMP *346*
2′-AMP *72*
3′-AMP *72*
5′-AMP *73*
AMP-PCP *212*
AMP-PNP *212*
AMP-S *212*
AMPS *264*
Ap_5A *213*
APS *73*
AraA *213*
AraATP *213*
AraC *213*
AraCTP *213*
A-rest *201*
Arg *15*
Asn *16*
Asp *16*
ATP *72, 344*
ATP-γ-S *214*

B-9 *201*
B-995 *201*
BA *201*
BAL *316, 337*
BDC *326*
BES *342, 352*
BICINE *353, 365*
BSA *316*
BT *301*
Bu_2-cAMP *74*
BuPBD *459*

Ca(ADP)$^-$ *345*
Ca(ATP)$^{2-}$ *345*
2′,3′-cAMP *73*
3′,5′-cAMP *74*
CAP *231*
CCC *208*
CCCP *256*
2′,3′-cCMP *87*
CCP *256*
CDP *86, 346*
Cepha *208*
CFL *206*
cGMP *79*
2′,3′-cGMP *79*
CHAM *253*
CHAPS *236*
CHES *353*
CIPC *260*
CMC *326*
CMP *346*
2′-CMP *86*
3′-CMP *86*

5′-CMP *87*
CMU *261*
CoA *106*
$Co(ADP)^-$ *344*
CoA·SH *106*
$Co(ATP)^{2-}$ *344*
CoQ_n *117*
CP *149*
CTP *86, 346*
$Cu(ATP)^{2-}$ *344*
Cys *36*

2,4-**D** *203*
DABS *323*
DAD *294*
dAMP *75*
dATP *74*
2,4-DB *204*
DBMIB *254*
DCCD *255*
dCMP *85*
DCMU *255*
DCPIP *294*
dCTP *85*
ddATP *218*
ddCTP *218*
o,p′-DDD *262*
ddGTP *218*
ddTTP *218*
DEP *268*
DES *256*
DFP *267*
dGMP *80*
dGTP *80*
diBu-cGMP *79*
DIDS *242*
DIECA *268*
DMA *320*
DMBQ *294*
DMQ *294*
DMS *320*
DNFB *323*
DON *217*
DPIP *294*
DPU *203*
DTBP *320*
DTE *317*
dTMP *83*
DTNB *323*
dTTP *83*

EDC *326*
EDTA *339, 370*
EGTA *340*
EL-531 *201*
EP *149*
EPPS *352, 364*
Ery *233*
Ethrel *208*

F30 *246*
FAD *118, 344*
(FAD)NaH *118*
FCCP *260*
FDP *69*
FITC *331*
FMN *119, 344*
(FMN)NaH *119*
$(FMN)NaH·2H_2O$ *119*

GA3 *202*
GDP *78, 346*
Gla *25*
Gln *22*
Glu *21*
Gly *21*
GMP *79, 346*
2′-GMP *78*
3′-GMP *79*
5′-GMP *79*
GMP-PCP *216*
GMP-PNP *216*
GSH *22*
GSSG *22*
GTP *78*
GTP-γ-S *216*

HEPES *342, 352, 363*
Hide powder blue *307*
His *21*
HMG *41*
HMG-CoA *451*
HNBB *321*
HOQNO *253*
HS-CoM *107*
5-HT *20*
Hyl *19*
Hyp *20*

i^6A *204*
IAA *205*
i^6Ade *204*
IBA *204*
ICI 46474 *263*
IDP *76, 346*
5′-IDP *76*
Ile *24*
5′-IMP *77*
INT *296*
t-io^6A *204*
t-io^6Ade *204*
2iP *204*
IPA *204*
2iPA *204*
IPTG *308*
IT 3299 *206*
IT 3456 *206*
ITP *76, 346*
5′-ITP *76*

K$(ADP)^{2-}$ *345*
$K(ATP)^{3-}$ *345*

LDAO *236*
L-DOPA *23*
Leu *27*
Lys *28*

mCLAM *253*
MCPA *204*
MeNNG *220*
MER 25 *262*
MER 29 *263*
MERCAP *270*
MES *342, 352*
Met *29*
$Mg(ADP)^-$ *344*
$Mg(ATP)^{2-}$ *345*
$m^7G^5{}'p$ *228*
mIBM *253*
MIT *25*
MIX *271*
$Mn(ADP)^-$ *345*
$Mn(ATP)^{2-}$ *345*
MNG *220*
MOPS *352, 361*
MSI *78*
MSII *78*

NAA *206*
$Na(ADP)^{2-}$ *345*
$Na(ATP)^{3-}$ *345*
NAD *110*
NADH *104*
$(NADH)Na_2$ *104*
$(NAD)LiH·2H_2O$ *110*
NADP *110*
NADPH *104*
$(NADPH)Na_4$ *105*
$(NADP)KH_2$ *110*

(NADP)Na_2H *110*
$NADP^+$ *110*
NAD+ *110*
NAL *221*
NBS *320*
NC 5392 *207*
NEM *281*
NeoT *299*
NG *220*
$Ni(ATP)^{2-}$ *344*
NNG *220*
NPA *206*
NT *299*
NTG *220*

ONPG *309*

PAPS *73*
PAS *264*
PBA *207*
PBD *459*
PCMBS *279*
PEG *236, 318*
PGA_1 *290*
PGA_2 *290*
PGE_1 *289*
PGE_2 *289*
$PGF_{1\alpha}$ *289, 290*
$PGF_{2\alpha}$ *289, 290*
Phe *34*
PIPES *342*
PITC *331*
PMS *303*
PMSF *277*
Polaris *202*
POPOP *459*
ppGpp *78*
PPO *459*
pppGpp *78*
PQ-n *113*
Pro *31*
PVP *317*

Q-*n* *117*

RB 200 *326*
RMI 12936 *262*
Ro *207*
Roundup *202*

SADH *201*
SAM *12*
SD 8339 *207*
SDS *234*
Ser *31*
SF 6847 *255*
SITS *242*
SKF *trans*-385 *278*
SKF 525-A *268*
SN 390 *252*
SP *149*
$Sr(ADP)^-$ *344*
$Sr(ATP)^{2-}$ *344*
SU 4885 *262*

2,4,5-**T** *204*
T3 *33*
T4 *33*
α-TEG *310*
β-TEG *311*
TEPP *276*
TES *342, 352*
THE *168*
THF *169*
Thr *33*
TIBA *207*
TLCK *276*
TM *277*
TMG *308*
TMPD *301*
TPCK *277*
TPP *116*
Tricine *342, 353, 362*
Tris *342*
Trp *34*
TTFB *259*
TTZ *302*
Tyr *32*

UDP *346*
UMP *346*
2′-UMP *84*
3′-UMP *84*
5′-UMP *85*
UTP *84*

Val *18*

X 537 A *248*
XMP *223*

Zn(ADP)$^-$ *345*
$Zn(ATP)^{2-}$ *344, 345*

ББК 28.072
С74
УДК 571.1

С74 **Справочник** биохимика: Пер. с англ./Досон Р., Эллиот Д., Эллиот У., Джонс К.– М.: Мир, 1991.–544 с., ил.
ISBN 5-03-001032-7

В книге ученых из Великобритании и Австралии собраны и систематизированы сведения, представляющие интерес практически для любой биохимической лаборатории, каждого биохимика, в какой бы области он ни специализировался. Она содержит данные о физико-химических и биологических свойствах биологически активных веществ, четко изложеиные методические указания для проведения стандартных биохимических аналитических процедур.

Для специалистов в области биохимии, химии природных соединений, биоорганической и медицинской химии, молекулярной биологии, а также для студентов и аспирантов химических, биологических, медицинских вузов.

1903010000-429
С ——————— 97–91
041 (01)-89

ББК 28.072

Редакция литературы по химии

ISBN 5-03-001032-7 (русск.)
ISBN 0-19-855358-7 (англ.)

© R. M. C. Dawson, D. C. Elliott, W. H. Elliott, K. M. Jones, 1986. This book was originally published in the English language by Oxford University Press, Oxford, England
© перевод на русский язык, Д ца В. Л.,