

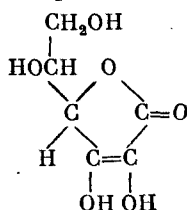
Мы видим, что эти соединения содержат длинные «хвосты» из неполярных углеводородных остатков и сильно полярные «головы» с группами —O—CO—. Функциональные липиды клеточных мембран представляют собой более сложные соединения, в состав которых могут входить и углеводные, и аминные, и алкиламинные группы. Ряд важных соединений относится к *фосфолипидам*. На рис. 2.14 изображена схема строения фосфолипида сфингомиелина. Мембранные липиды и фосфолипиды, как правило, построены из сильно полярной «головы» и двух длинных неполярных углеводородных «хвостов». Для их функции существенно присутствие в «хвостах» ненасыщенных двойных С=С-связей. Такие связи отсутствуют в животных жирах, но присутствуют в растительных. Функционирование липидов в мембранах описано в гл. 10.

§ 2.9. Кофакторы, витамины, гормоны

Метаболизм в целом, равно как и специальные свойства биополимеров в клетках регулируются специфическими малыми молекулами, относящимися к нескольким группам органических соединений. В § 2.5 уже говорилось об аденилатах.

Большая часть ферментов функционирует в комплексах с низкомолекулярными *кофакторами*, *коферментами*. Такой фермент в целом называется *холоферментом*, его белковая часть — *апоферментом*. Кофакторы разнообразны. К алифатическому ряду относятся дифосфаты углеводов и их аминокислотных производных, участвующие в реакциях переноса фосфатных групп. Среди алифатических кофакторов отметим содержащие серу липоевую кислоту и глутатион.

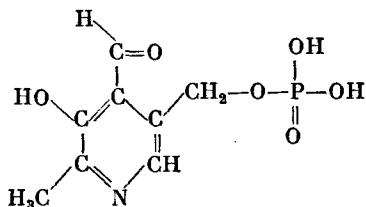
Необходимым участником ряда окислительно-восстановительных процессов является аскорбиновая кислота, или витамин С:



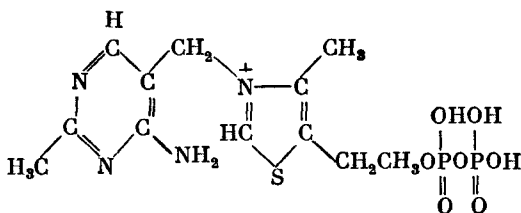
Витамины необходимы именно потому, что они служат кофакторами или преобразуются в них. Так как роль кофакторов каталитическая, они нужны организму в малых количествах.

В то время как основные цепи белков и нуклеиновых кислот, не говоря уже о полисахаридах, не являются цепями сопряженных π-связей, большинство важнейших коферментов — π-электронные сопряженные системы, содержащие ароматические циклы или гетероциклы. Таковы, как мы уже видели, аденилаты. Во флавиновых коферментах — во флавиномононуклеотиде ФМН и флавинаденидинуклеотиде ФАД фигурирует сопряженный

трехкольцевой гетероцикл — рибофлавин (витамин В₂). Эти коферменты окрашены в желто-оранжевый цвет, так как рибофлавин поглощает свет в видимой области спектра. Аденин входит и в состав кобамидных коферментов, связанных с кобаламином или В₁₂. Пиридоксальфосфат (ПАЛФ) — производное пиридина — является коферментом трансаминаз, катализирующих превращения аминокислот:



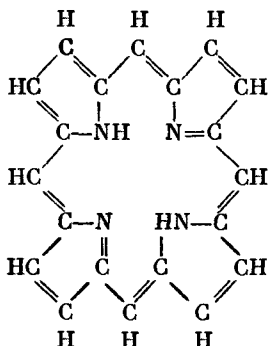
л-электронная система фигурирует и в тиаминфосфате



Тиамин есть витамин В₁.

Длинная линейная сопряженная система л-связей содержится в красящем веществе моркови — в *β-каротине*, являющемся про-витамином А. Его модификация — *ретиаль* — непосредственно участвует в первичном акте зрительного восприятия (гл. 14).

Важнейшее значение для ряда жизненных процессов, начиная с фотосинтеза, имеют л-электронные сопряженные системы *порфириновых соединений* — производные *порфина*



Порфириновое кольцо построено из четырех пятичленных пиррольных гетероциклов. Как и другие сопряженные системы, пор-

Фирбиновое кольцо — плоское. В центре кольца может располагаться координационно связанный атом металла. В упомянутых кобальтовых ферментах фигурирует порфирин с атомом Со в центре. Хлорофиллы, ответственные за первичные акты поглощения света при фотосинтезе, содержат порфирин с центральным атомом Mg (см. § 14.1). Простетическая группа гема — порфирина с центральным атомом Fe — содержится в белках, участвующих в процессах дыхания — в цитохромах (см. § 13.6), в миоглобине и гемоглобине (§ 6.7), в леггемоглобине — белке клубеньковых бактерий, участвующем в фиксации атмосферного азота, в ряде окислительно-восстановительных ферментов. В крови оболочников (асцидий) содержится половинка порфирина — дипиррольный комплекс ванадия.

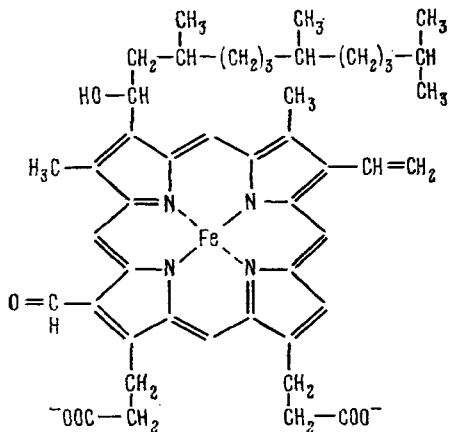
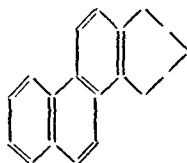


Рис. 2.15. Гем (протогем IX)

На рис. 2.15 показана структура гема простетической группы миоглобина и гемоглобина.

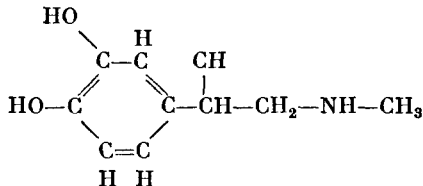
Роль металлов, в частности комплексообразующих переходных металлов, очень велика в биологии. Около трети всех ферментов, известных науке, содержит ионы металлов в качестве кофакторов. Относящиеся сюда факты и проблемы, представляющие собой предмет *бионеорганической химии*, рассмотрены в § 6.9.

В сложных многоклеточных организмах роль сигнальных, регуляторных веществ играют *гормоны*. В организмах животных имеются две большие группы гормонов — белки, полипептиды и их производные и стероиды. К первой группе относится тиреоглобулин — белок щитовидной железы, содержащий йодированный тироксин, инсулин, регулирующий уровень сахара в крови, окситоцин, вызывающий сокращение матки, вазопрессин, регулирующий кровяное давление, и т. д. Гормоны синтезируются в железах внутренней секреции и осуществляют регуляцию на уровне организма. Стероиды — соединения, содержащие углеродный скелет циклопентанофенантрена



Важнейшие стероидные гормоны — половые гормоны — эстрон, прогестерон, тестостерон, андростерон и гормон коры надпочечников — кортизон.

Кроме этих двух групп, имеются и другие низкомолекулярные гормоны. Укажем на адреналин, гормон надпочечников, повышающий артериальное давление и стимулирующий сердечную деятельность:



Гормональная активность определяется химической функциональностью немногочисленных атомных групп. Химические различия тестостерона и кортизона малы, но их физиологические функции совершенно различны. Строение и свойства гормонов

Т а б л и ц а 2.3. Приблизительный химический состав клеток *E. coli*

Вещество	Средняя м. м.	Число молекул в клетке	Число различных видов молекул
H ₂ O	18	10·10 ¹⁰	1
Неорганические ионы (Na ⁺ , K ⁺ , Mg ⁺⁺ , Ca ⁺⁺ , Cl ⁻ , PO ₄ ³⁻ , CO ₃ ²⁻ и др.)	40	2,5·10 ⁸	20
Углеводы и их предшественники	150	2·10 ⁸	200
Аминокислоты и их предшественники	120	3·10 ⁷	100
Нуклеотиды и их предшественники	300	1,2·10 ⁷	200
Липиды и их предшественники	750	2,5·10 ⁷	50
Другие малые молекулы	150	1,5·10 ⁷	200
Белки	4·10 ⁴	10 ⁶	2—3·10 ³
ДНК	2,5·10 ⁹	4	1
РНК:			
pРНК 16 S*)	5·10 ⁵	3·10 ⁴	1 (?)
pРНК 23 S	10 ⁶	3·10 ⁴	1 (?)
rРНК	2,5·10 ⁴	4·10 ⁴	40
mРНК	10 ⁶	10 ³	10 ³

*) S — шведберг (см. с. 80).

демонстрируют биологическое значение индивидуальных молекулярных структур.

Важную роль играют олигопептиды головного мозга млекопитающих. Вещества, содержащие небольшое число аминокислотных остатков (например, действующий подобно морфину ундекапептид Н-Арг-Про-Лиз-Про-Гли-Гли-Фен-Фен-Гли-Лей-Мет-NH₂),

обладают различными функциями — среди них имеются анальгетики, стимуляторы памяти и сна.

К веществам полипептидной природы относится ряд нейротоксинов, содержащихся в ядах змей, скорпионов и т. д. Эти вещества блокируют синаптическую передачу нервного импульса (см. § 11.5).

Табл. 2.3 характеризует разнообразие веществ, функционирующих в бактериальной клетке *Escherichia coli* (кишечной палочке).

§ 2.10. Основные биохимические процессы

Все кратко охарактеризованные выше вещества участвуют в процессах жизнедеятельности различных организмов, выработанных в ходе биологической эволюции. Большие и малые биологические молекулы обеспечивают биосинтез, метаболизм и биоэнергетику.

Как уже сказано, нуклеиновые кислоты ответственны за биосинтез белков. В этом и состоит их единственная «законодательная» функция. В свою очередь «исполнители» — белки — являются необходимыми участниками всех биохимических процессов в качестве катализаторов — ферментов.

Для реализации биосинтеза и метаболизма необходима энергия, запасаемая в клетках в химической форме, главным образом в экзергонических третей и второй фосфатной связи АТФ. Соответственно метаболические биоэнергетические процессы имеют своим результатом «зарядку аккумулятора» — синтез АТФ из АДФ и неорганического фосфата. Это происходит в процессах дыхания и фотосинтеза. Современные организмы несут память об эволюции, начавшейся около $3,5 \cdot 10^9$ лет назад. Имеются веские основания считать, что жизнь на Земле возникла в отсутствие свободного кислорода (см. § 17.2). Метаболические процессы, протекающие при участии кислорода (прежде всего окислительное фосфорилирование при дыхании), относительно немногочисленны и эволюционно являются более поздними, чем анаэробные процессы. В отсутствие кислорода невозможно полное сгорание (окисление) органических молекул пищевых веществ. Тем не менее, как это показывают свойства ныне существующих анаэробных клеток, и в них необходимая для жизни энергия получается в ходе окислительно-восстановительных процессов. В аэробных системах конечным акцептором (т. е. окислителем) водорода служит O_2 , в анаэробных — другие вещества. Окисление без O_2 реализуется в двух путях брожения — в гликолизе и в спиртовом брожении. Гликолиз состоит в многостадийном расщеплении гексоз (например, глюкозы) вплоть до двух молекул пирувата (пировиноградной кислоты), содержащих по три атома углерода. На этом пути две молекулы НАД восстанавливаются до НАД.Н и две молекулы АДФ фосфорилируются — получаются две молекулы АТФ. Вследствие обратной реакции