

Введение в биохимию

А. А. Чиркин, заведующий кафедрой химии Витебского государственного университета им. П. М. Машерова, доктор биологических наук, профессор

Биохимия находится на стыке двух наук, прежде всего биологии и химии. Возникнув как наука о химии жизни, биохимия отличается от органической химии тем, что исследует только те вещества и химические реакции, которые имеют место в живых организмах. В настоящее время биохимия занимает лидирующее положение среди естественных наук, поэтому и знакомство учителей химии, а также школьников на уроках и внеклассных мероприятиях по химии с элементами биохимии, безусловно, будет полезным.

1. Определение

Биологическая химия — наука о химическом строении и функциях веществ, входящих в состав живой материи, и их превращениях в процессах жизнедеятельности. Совокупность этих превращений в постоянной взаимосвязи с окружающей средой обеспечивает функционирование живых организмов в условиях сбалансированности процессов синтеза и распада веществ в клетках и тканях.

Главной задачей биохимии является идентификация основных закономерностей биохимических процессов, выяснение взаимосвязи между структурой и функциями биомолекул, участвующих в реакциях клеточного метаболизма.

Биохимия изучает химию живой природы в широком диапазоне: от человека и позвоночных до бактерий и вирусов.

В зависимости от объекта исследования условно выделяют: 1) биохимию микроорганизмов; 2) биохимию простейших; 3) биохимию растений; 4) биохимию животных (ветеринарную биохимию); 5) биохимию человека.

1. Статическая биохимия — изучает химическую природу организма (биоорганическая химия).

2. Динамическая биохимия — изучает превращения химических веществ в организме (метаболизм).

3. Функциональная биохимия — изучает роль превращений химических веществ в организме в проявлении функций клеток, тканей, органов, организма.

Выделяют определённые разделы биохимии по направлениям исследований: техническая биохимия (молекулярные основы хлебопечения, сыроваре-

ния, виноделия и пр.); медицинская биохимия (биохимические процессы в организме человека в норме и при патологии), эволюционная биохимия (эволюция обмена веществ в рамках эволюции живых организмов); квантовая биохимия (изучает квантово-физические характеристики метаболитов и их превращений в живом организме); энзимология (изучает структуру, свойства и механизм действия ферментов) и др.

Нарушение здоровья и развитие заболеваний через нарушение метаболизма может быть вызвано следующими факторами: 1) физическими агентами (механическая травма, экстремальная температура, изменение давления, радиация, электрический шок); 2) химическими агентами (токсины, лекарства); 3) биологическими агентами (вирусы, риккетсии, бактерии, грибы, паразиты); 4) гипоксией (кровопотеря, нарушение транспорта кислорода кровью, отравление дыхательными ядами); 5) генетическими факторами; 6) иммунологическими реакциями (анафилаксия, аутоиммунные заболевания); 7) дисбалансом питания (недостаточное и избыточное питание); 8) эндокринным дисбалансом (дефицит и избыток гормонов).

2. История биохимии

Выделяют пять периодов в истории развития биохимических знаний.

Первый период — с древних времён до XV века (эпоха Возрождения) — это время практического использования биохимических процессов без знания их теоретических основ: получение ле-

карств из биологических объектов, пивоварение, хлебопечение, виноделие.

Второй период — от эпохи Возрождения до середины XIX века — время накопления биохимических знаний и становления науки. Леонардо да Винчи открыл, что живой организм способен существовать только в такой атмосфере, в которой может гореть пламя. Парацельс считал задачей алхимии — создание лекарств. М. В. Ломоносов утверждал, что органы животных и растений состоят из более мелких частичек, и именно из неорганических. Биохимия как отдельная наука стала выделяться в начале XIX века с пионерских работ Фридриха Вёлера. До этого времени полагали, что вещества живых организмов отличаются от неживой материи и не подчиняются законам физики и химии. В 1928 году Вёлер показал, что мочевины, вещество биологического происхождения, может быть синтезирована в лаборатории из неорганического вещества — цианата аммония. Спустя семьдесят лет Э. Бухнер показал, что экстракты дрожжевых клеток переваривают крахмал так же эффективно, как и живые дрожжевые клетки. Обе эти работы нанесли существенный удар по витализму — учению, согласно которому химические вещества живой природы синтезируются только с помощью особой жизненной силы, и дали мощный импульс дальнейшему развитию биохимии. Так, в 50-х годах XIX века М. Бергто удалось синтезировать целый ряд органических соединений, свойственных живой природе. М. Шеврель заложил основы химии липидов. Нуклеиновые кислоты были выделены в 1869 году Ф. Мишером, но структура была изучена недостаточно, и в начале 90-х годов их рассматривали только как структурный компонент клетки.

Третий период в истории биохимии, начинающийся со второй половины XIX века, ознаменовался выделением биохимии как самостоятельной науки. К этому периоду относится деятельность А. Я. Данилевского, предсказавшего полипептидную теорию структуры белков, выдвинувшего идею об обратимости действия ферментов и создавшего первую в России кафедру биохимии в Казанском университете. Целые направ-

ления в биохимии открыли М. В. Ненцкий (биосинтез мочевины, строение гемоглобина), Н. И. Лунин (витамины), Э. Фишер (свойства аминокислот и открытие пептидной связи), О. Варбург, А. Н. Бах и В. И. Палладин (биологическое окисление), А. Гарден и В. Ионг (открытие НАД), Ф. Кнооп (бета-окисление жирных кислот), Д. Самнер и Д. Нортроп (выделение ферментов в виде кристаллов), Г. Кребс (описание первых биохимических циклов — синтез мочевины (1932) и цикл трикарбоновых кислот (1937)), В. А. Энгельгардт и М. В. Любимова (сопряжение дыхания и фосфорилирования), А. Е. Браунштейн и М. Г. Крицман (трансаминирование) и др. Это был период накопления и первичной систематизации знаний.

Четвёртый период начался в 40—50-х годах прошлого столетия и связан с бурным развитием биохимии благодаря внедрению новых физических, физико-химических и компьютерных методов исследования. М. Перутц, Дж. Кендрию, Л. Полинг широко применяли методы рентгеноструктурного анализа при исследовании биомолекул, Д. Уотсон и Ф. Крик предложили модель строения ДНК, А. Н. Белозёрский использовал нуклеотидный состав ДНК как таксономический признак, А. С. Спирин и П. Доти описали вторичную и третичную структуры рибосомальной ДНК, М. Ниренберг, С. Очоа, Г. Корана расшифровали генетический код, П. Митчелл сформулировал хемиосмотическую теорию окислительного фосфорилирования и т. д. Биохимия прошлого века решила две важнейшие задачи:

- 1) создание карты метаболизма;
- 2) расшифровку генома живых организмов.

Биохимия XXI века — вероятно, *пятым периодом* развития биохимии — будет посвящена характеристике каждого живого организма путём использования методологии *протеомики*, т. е. науки об индивидуальных особенностях белкового состава живого организма.

3. Общие представления о химическом составе живых организмов

В живых организмах присутствует более 70 химических элементов. В. И. Вернадский в книге «Биосфера» (1926) пи-

сал, что жизнь теснейшим образом связана с химическим строением земной коры. Он предложил группировать хи-

мические элементы биосферы «декадами» в зависимости от содержания в живых организмах (табл. 1).

Таблица 1. Элементарный состав тканей растений и животных

Номер декад	Элементы	Содержание на сырую ткань, %
Макроэлементы		
I	О, Н	10
II	С	1
III	N, P, K, Ca, Si	0,1
IV	Mg, S, Fe, Na, Cl, Al	0,01
Микроэлементы		
V—VII	Mn, B, Cu, Zn, Ba, Li, Ni, Rb, F и др.	0,001—10 ⁻⁵
Ультрамикроэлементы		
VIII—XIV	Mo, I, As, Ag, Hg, Au, Pb, Ra и др.	10 ⁻⁶ —10 ⁻¹³

Высказано предположение, что химический состав живых организмов может являться таксономическим признаком.

Существует определённая зависимость между распространением элементов в биосфере, их биологической ролью и положением в периодической системе Менделеева. Вещества живых организмов более чем на 99 % состоят из элементов первых трёх периодов этой системы. Как правило, при переходе от лёгких элементов к тяжёлым в пределах одной и той же подгруппы (например, Zn→Cd→Hg) возрастает токсичность элементов и одновременно уменьшается содержание их в биомассе. Высокой биологической активностью обладают многие соединения переходных металлов, к которым относятся элементы IV периода (с 21 по 30): Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn и др., поскольку они способны к образованию комплексов, играя в них роль центральных атомов. Элементы некоторых подгрупп периодической системы могут в той или иной степени заменять друг друга в биологических процессах (например, кальций и барий, хлор и бром). Одним из последствий глобальной катастрофы — аварии на Чернобыльской атомной электростанции — оказалось проявление биологического антагонизма элементов в парах цезий — калий, стронций — кальций, трансураниевые элементы — железо.

Около 98 % массы биосферы составляют четыре элемента — водород, кис-

лород, углерод и азот. Они легко спаривают электроны и образуют прочные ковалентные связи. Малые размеры атомов этих элементов также способствуют образованию коротких, прочных химических связей. Молекулы с такими связями более устойчивы к действию физических и химических факторов. Большое значение имеет также способность перечисленных элементов образовывать кратные связи (двойные, тройные), благодаря чему они превосходят многие элементы по числу и разнообразию соединений с уникальными свойствами.

В пересчёте на сухую массу в организме человека содержится С — 50 %, О — 20 %, Н — 10 %, N — 8,5 %, Са — 4 %, P — 2,5 %, К — 1 %, S — 0,8 %, Na — 0,4 %, Cl — 0,4 %, Mg — 0,1 %, Fe — 0,01 %, Mn — 0,001 %, J — 0,00005 %. При недостатке иода и фтора в воде и пище возникают гипотиреоз (эндемический зоб) и кариес зубов, железа — железодефицитная анемия.

По химическому составу тело человека и животных включает 3 основных класса веществ. В организме человека массой 65 кг находится: 1) вода — 60 %; 2) органические вещества — 34 %; 3) неорганические вещества — 6 %.

Элементы-органогены (С, О, N, H, P, S) образуют две группы органических веществ живых организмов — биополимеры [белки (~17 %), жиры (~13 %) и углеводы (~15 %)] и низкомолекулярные биорегуляторы.

В составе организмов присутствуют карбоновые кислоты, углеводороды, амины, спирты, альдегиды. Есть вещества, характерные только для растительных тканей: эфирные масла, алкалоиды, дубильные вещества. В отдельные группы должны быть выделены вещества, присутствующие в тканях живых организмов в небольших количествах, но играющих первостепенную роль в регуляции обмена веществ: гормоны, витамины, антибиотики, фитонциды, ферменты и др.

4. Происхождение жизни и признаки живой материи

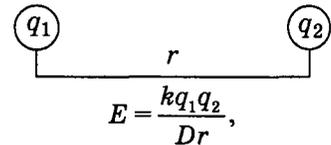
Несмотря на определённые, порой принципиальные различия в химическом составе и обмене веществ тех или иных видов живых организмов, существует биохимическое единство всех форм жизни.

Выделяют следующие основные *признаки живой материи*: 1) способность к метаболизму; 2) сложность, высокий уровень структурной организации живой материи; 3) изменчивость — способность к самостоятельному реагированию на воздействие окружающей среды изменением химического состояния и функционирования; 4) способность к точному воспроизведению за счёт передачи наследственной информации.

Приступая к изучению биохимии, следует уяснить, что в живых организмах на первое место выходят взаимодействия не между атомами внутри молекулы, а между поверхностями молекул. В биохимии белков эти функции выполняют одна ковалентная дисульфидная связь, образованная при окислении двух сближенных в пространстве остатков цистеина полипептидных цепей, и три типа слабых нековалентных взаимодействий: водородные, ионные связи и гидрофобные взаимодействия. Нековалентные взаимодействия играют важную роль в процессе репликации ДНК (спаривание комплементарных оснований нуклеотидов), фолдинга (складывания) белковой молекулы с целью достижения нативной структуры, взаимодействия субстрата и активного

центра фермента, детекции управляющих гуморальных сигналов (взаимодействие гормон-рецептор), борьбы с чужеродной генетической информацией (взаимодействие антиген-антитело).

1. Электростатическое взаимодействие (ионная связь) зависит от электрического заряда атомов. Энергия ионной связи описывается уравнением Кулона (Coulomb's):



$$E = \frac{kq_1q_2}{Dr}$$

где E — энергия, q_1 и q_2 — заряды двух атомов (в единицах электрического заряда), r — расстояние между двумя атомами (в ангстремах*), D — диэлектрическая постоянная (характеристика среды) и k — константа ($k = 332$, для выражения энергии в ккал/моль и $k = 1389$ — в кДж/моль). Так, электростатическое взаимодействие между двумя частицами с простыми зарядами, разделёнными на 3Å ($0,3\text{ нм}$) в воде (диэлектрическая константа 80), имеет энергию $1,4$ ккал/моль ($5,9$ кДж/моль). При сближении заряженных частиц вдвое электростатическое взаимодействие увеличивается вчетверо.

2. Водородные связи важны для многих веществ, растворённых в воде. Водородная связь возникает, если атом водорода оказывается между двумя электроотрицательными элементами, например атомами азота и кислорода. При образовании связи реализуются донорно-акцепторный механизм и электростатическое взаимодействие. Атом, с которым водород связан ковалентно, служит донором водорода, а электроотрицательный атом другой молекулы — акцептором. Расстояние между двумя электроотрицательными атомами, соединёнными водородной связью, находится в пределах $0,26$ — $0,31$ нм. Водородная связь намного слабее, чем ковалентная. Энергия водородной связи около $1,3$ ккал/моль ($5,4$ кДж/моль), тогда как энергия ковалентной углерод-

Ангстрем (Å) — единица длины: $1\text{ Å} = 10^{-10}\text{ м} = 10^{-8}\text{ см} = 10^{-4}\text{ мкм} = 10^{-1}\text{ нм}$.

водородной связи составляет примерно 100 ккал/моль (418 кДж/моль). Характерной особенностью водородных связей является то, что они обладают наибольшей прочностью тогда, когда взаимная ориентация связанных между собой молекул обеспечивает максимальную энергию электростатического взаимодействия (например, стабилизация вторичных структур белков и ДНК).

3. Взаимодействия между диполями (Ван дер Ваальса). Диполи — это частицы (молекулы), суммарный заряд которых равен нулю, но имеющие электрическое поле вследствие неравномерного распределения зарядов по всей молекуле. Например, такое неравномерное распределение зарядов возникает, если в молекуле имеются полярные связи (связи между атомами элементов с разной электроотрицательностью). Диполи могут быть также индуцированы внешним воздействием, например, когда неполярная молекула или атом оказываются в зоне действия иона или полярной молекулы (диполя).

Энергия взаимодействия ван дер Ваальса очень слабая — 0,5—1,0 ккал/моль (2—4 кДж/моль) на пару атомов. В результате атомы (диполи) сближаются до определённой контактной дистанции.

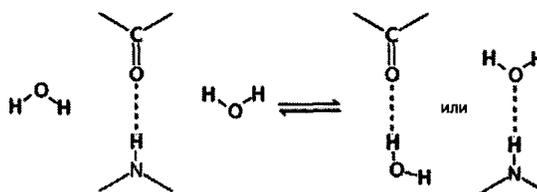
4. Гидрофобные взаимодействия. Подобно слиянию капелек масла в воде образованием одной большой капли, в водной среде стремятся сблизиться неполярные (гидрофобные) группы полярных полипептидных цепей, например боковые цепи аминокислот: валина, лейцина и фенилаланина. Если гидрофобные группы двух белков окажутся настолько близко друг к другу, что между ними не останется молекул воды, то общая площадь их контакта с водой уменьшится и энергия системы окажется ниже, чем до их взаимодействия. Иными словами, можно говорить о притяжении между белковыми поверхностями. Гидрофобные взаимодействия по некоторым оценкам могут обеспечивать, например, до 50 % всего сродства между антигеном и антителом.

Большинство химических реакций в организме происходит в водной среде. Поэтому следует учитывать роль воды не

только как растворителя, но и как участника химических превращений. Выраженность и специфичность слабых взаимодействий напрямую зависят от водного окружения. Два свойства воды наиболее важны для биологических тканей.

1. Вода — это полярная молекула. Каждый из двух атомов водорода объединяет свой электрон с одним из электронов атома кислорода. Взаимное расположение возникающих при этом двух электронных пар обуславливает V-образную форму молекулы воды. Более электроотрицательный атом кислорода оттягивает электронную плотность от ядер атомов водорода, что создаёт в области атомов водорода частичный положительный заряд, а атомы кислорода несут частичный отрицательный заряд. Поэтому электронейтральная молекула воды существует как полярный диполь. У атома кислорода имеются ещё две неподелённые электронные пары.

2. Вода — высокоструктурированная среда. Поскольку расположение электронов вокруг атома кислорода близко к тетраэдрическому, каждая молекула воды может образовывать водородные связи максимально с четырьмя (точнее 3,4) соседними молекулами воды. Такое взаимодействие можно наблюдать в структуре льда. Сеть водородных связей поддерживает эту структуру. В жидком состоянии часть водородных связей разрушается, а оставшиеся поддерживают ажурную (додекаэдрическую) структуру воды. Благодаря динамичности формирования водородных связей (время полужизни каждой из них $1 \cdot 10^{-9}$ с) вода является текучей жидкостью и прекрасным растворителем для полярных молекул. В то же время в присутствии воды могут проявляться конкурентные отношения в выборе атома, образующего водородную связь. Например, в присутствии молекул воды может нарушиться водородная связь, образованная между элементами пептидных связей белков:



Поэтому, строго говоря, водородная связь между СО- и NH-группами может существовать только в отсутствии молекул воды. Диэлектрическая константа воды равна 80, что резко уменьшает электростатическое взаимодействие между заряженными частицами, сравнимое с таким в вакууме. Формирование сольватных оболочек из диполей воды вокруг ионов уменьшает электростатическое взаимодействие между ионами.

Возникает вопрос, почему жизнь тепловых связана с температурой около 37 °С. Существует мнение, что это температурная граница, при которой меняется надмолекулярная организация воды. Нарушения биохимических процессов при гипертермии (воспалительные заболевания), возможно, играют важную роль в поддержании состояния здоровья.

Живая материя, возникшая в водной среде, требует высокой структурной организации, что осуществляется благодаря слабым (нековалентным) взаимодействиям между молекулами. Максимальная выраженность нековалентных взаимодействий между молекулами требует удаления воды между ними.

Общим для всех взаимодействий, описанных выше, является понятие *энергии*. Обратимся к разделу физики, называемому *термодинамикой*, изучающей превращения энергии. Первый закон термодинамики — закон сохранения энергии: энергия не появляется и не исчезает; всякий раз, когда энергия используется для выполнения работы или же переходит из одной формы в другую, общее количество энергии остаётся неизменным. Второй закон термодинамики гласит, что все физические или химические процессы стремятся идти в направлении, соответствующем необратимому переходу полезной энергии в хаотическую, неупорядоченную форму. Мерой такого перехода служит величина — энтропия. Процесс останавливается, когда наступает состояние равновесия, при котором энтропия имеет максимально возможное при данных условиях значение. Энтропия является количественной характеристикой, или мерой неупорядоченной энергии в данной системе. Живые организмы сохраняют внутреннюю упорядоченность, получая свободную энергию в виде пищевых ве-

ществ (или солнечного света) из окружающей среды и возвращая в неё такое же количество энергии, главным образом в форме тепла, которое рассеивается в окружающей среде.

Жизнь на планете существует в виде особой оболочки — *биосферы*, которая определяется как высокоорганизованная, многоуровневая, открытая, гомеостазированная система с прогрессирующей в историческом масштабе времени степенью сложности, состоящая из самоорганизующихся дискретных единиц, способных к согласованной эволюции, которая «управляется» естественным отбором на основе матричного синтеза (репродукции) с наличием «информационного шума», а также высокомолекулярных соединений углерода. Наиболее характерная черта биосферы (жизни) — наличие включённых в общепланетарные системы закономерно организованных и тонко регулируемых круговоротов веществ, а также потоков энергии и информации (В. Н. Ярыгин, 1999—2002).

Известны три основных подхода к решению проблемы происхождения жизни на Земле.

1. Идея *панспермии*, согласно которой жизнь, представляя собой явление космического масштаба, столь же вечна и повсеместна во Вселенной, как и материя (Г. Гельмгольц, С. Аррениус, В. И. Вернадский, У. Томпсон). Появление её на Земле объясняется проникновением на планету зародышей, постоянно путешествующих в космическом пространстве.

2. Идея *абиогенеза* (Э. Геккель) связывает проблему происхождения жизни на Земле с решением задачи образования сложных органических макромолекул (белков, нуклеиновых кислот) из простых в отсутствие живых существ. В XX веке была доказана принципиальная возможность абиогенного синтеза достаточно сложной биоорганики (С. Миллер, С. Фокс): в эксперименте были созданы модели протобийонтов (коацерваты А. И. Опарина и Д. Холдейна, микросферы С. Фокса).

Для пребиотической фазы развития жизни на земле наиболее привлекательной кажется теория, объясняющая возникновение молекул органических веществ. В это время атмосфера обладала

редуцирующими (восстанавливающими) свойствами, так как содержала метан (CH₄), аммиак (NH₃), воду (H₂O), водород (H₂) и подвергалась действию солнечной радиации и электрических разрядов. В 50-х годах прошлого века С. Миллер и Г. Урей воспроизвели в лаборатории условия пребиотической атмосферы и получили смесь органических веществ, включая аминокислоты. Синильная кислота и другие молекулы первичной атмосферы могли построить молекулу аденина, а из формальдегида образовывались молекулы рибозы в виде смеси двух стереоизомерных форм (рацемат). Однако в последующем отборе молекул в состав РНК вошёл лишь один изомер рибозы, а затем из неё образовалась дезоксирибоза, введение которой в состав ДНК существенно повысило сохранность генетической информации.

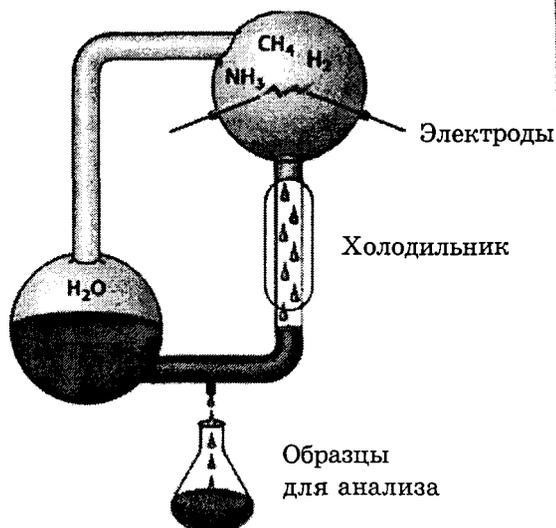


Рис. 1. Свет и электрические заряды приводят к образованию органических соединений в опыте Миллера—Урея

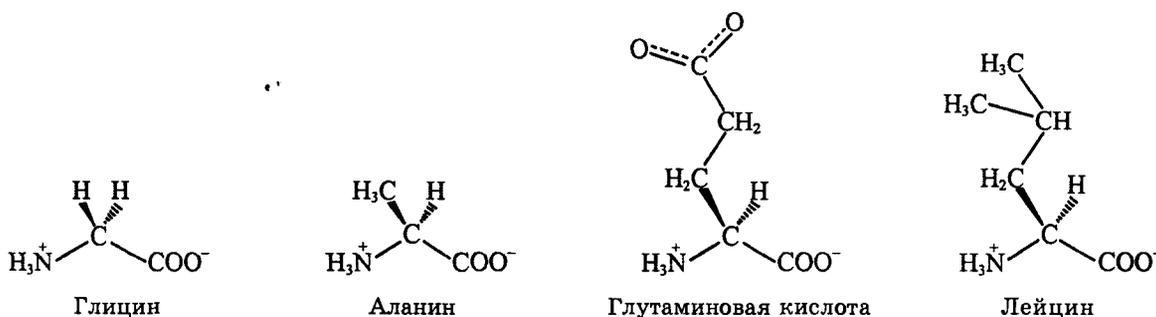


Рис. 2. Продукты пребиотического синтеза в атмосфере Земли

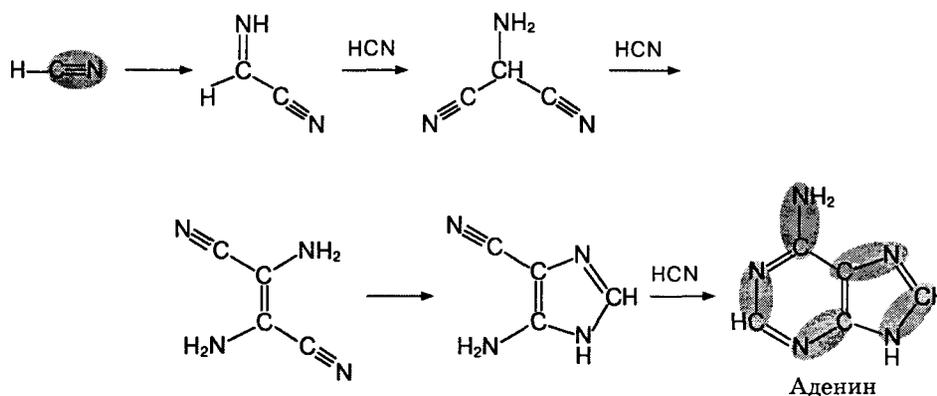


Рис. 3. Пребиотический синтез компонента нуклеиновых кислот — аденина

По мнению ряда учёных, этот подход малопродуктивен. Непонятно, почему полипептиды строятся исключительно из левовращающих оптических изомеров аминокислот, а молекулы нуклеиновых

кислот содержат только правовращающие изомеры сахаров (феномен хиральной чистоты), тогда как полученные абиогенным путём из метеоритного вещества аминокислоты или полипептиды представлены

смесью из примерно равного количества обоих оптических изомеров.

3. Создание теории *самоорганизующихся* систем на основе неравновесной термодинамики И. Пригожина, отличительной чертой которой является способность корректировать своё поведение (т. е. эволюционировать) на основе предшествующего опыта, в том числе путём создания новой информации, осознания принадлежности живых объектов к названной категории систем. Принципиальной с точки зрения существования и динамики самоорганизующихся систем представляется возможность образования упорядоченных (высоко информатизированных) макромолекул из неупорядоченной массы вещества-предшественника с использованием механизмов матричного синтеза и естественного отбора. Эволюционное поведение, базирующееся на самовоспроизведении (самокопирование — тиражирование информации) с «информационным шумом» (случайные искажения информации — мутации) и управляемое естественным отбором (выбор из случайного набора вариантов), обеспечивает появление в системе новой информации и, как следствие, реальность прогрессивного роста степени сложности.

Узловые моменты развития жизни

1. Предполагается, что при возрасте планеты в 4,5—4,6 млрд лет пригодные для жизни водоёмы появились 4,0—3,8 млрд лет тому назад. В этот период в абиогенных условиях функционируют отбирающиеся, самосохраняющиеся и изменяющиеся в сторону увеличения сложности организации системы *гиперциклы* (по М. Эйгену). Для них реальны автокатализ (самовоспроизведение), закономерные взаимопереходы высоко- и низкоэнергетических соединений (круговороты энергии и вещества), перспектива повышать свою сложность на основе вновь создаваемой информации (репродукция на фоне «информационного шума»), конкуренции за субстраты (норма отношений со средой), естественного отбора за устойчивость и эффективность, объединения и коэволюции с другими системами (принцип экосистемы) с той

же конечной целью — упорядоченность и стабильность (К. Ю. Еськов). На основании этих процессов могли сложиться основные атрибуты жизни: самовоспроизведение, самоорганизация, наследственность, случайная (мутационная) изменчивость, естественный отбор.

2. Появление *прокариот* 3,1 млрд тому назад знаменует оформление жизни как проявление биосферы. В этот период возникают хемо- и фотоавтотрофы, гетеротрофы, детритофаги. Происходит стабилизация интенсивности мутационного процесса на уровне 10^{-5} — 10^{-7} мутаций на 1 локус ДНК за поколение. Названный уровень сохраняется и сегодня от кишечной палочки до человека. Благодаря чрезвычайной точности при репликации генома человека, включающего $3 \cdot 10^9$ нуклеотидных пар, возможно примерно три информационных искажения (мутации) на реплицирующий геном. В это же время формируются: 1) системы репаративного синтеза ДНК; 2) системы формирования нативной структуры белков и выбраковки молекул с неправильной трёхмерной структурой с помощью белков теплового шока (шаперонов) и протеолиза аномальных белков. Таким образом, генетические основы здоровья были заложены на самых ранних этапах эволюции.

3. В интервале 1,9—1,7 млрд лет тому назад концентрация кислорода в атмосфере Земли превысила 1 % (*точка Пастера*), что позволило развивать механизмы аэробного гликолиза и тем самым поднять биоэнергетику живых организмов на качественно новый уровень. В это время развитие специализированных органелл — митохондрий — для реализации связанных с кислородом механизмов энергообеспечения функций клеток привело также к образованию вредных для мембран и макромолекул свободно-радикальных продуктов. Поэтому эволюция в дальнейшем привела к формированию методов неферментативной и ферментативной антиоксидантной защиты.

4. Период в интервале 2,0—1,5 млрд лет тому назад — время становления *эукариотических организмов*. Произошло количественное и качественное

увеличение возможности накопления информации в ДНК ядер клеток: если геном прокариот содержит в среднем 10^5 – 10^6 пар нуклеотидов, то у одноклеточных эукариот дрожжей — 10^7 пар нуклеотидов, а у млекопитающих и птиц — 10^8 – 10^9 пар нуклеотидов.

5. В интервале 600–540 млн лет тому назад появляются многоклеточные организмы. Развиваются механизмы, контролирующие *частичное* использование информации ДНК: 1) ДНК в ядрах клеток упаковывается в виде хромосом; 2) возникают диплоидные формы жизни; 3) в различных клетках одного и того же организма при наличии в них одной и той же ДНК за счёт функционирования разных участков ДНК (2–10 % от всей ДНК) обеспечивается специализация функций. Это период оптимизации соот-

ношений биоэнергетики организмов и их размеров, формирования межклеточных и межтканевых способов нервной и гуморальной регуляции.

6. В периоде 495–445 млн лет тому назад эволюционно формируются группы позвоночных, для которых на первое место выходят проблемы видоспецифичности, что и привело к появлению системы иммунитета для контроля клеточного и белкового состава организмов.

7. При появлении сухопутных животных (354–290 млн лет тому назад) и млекопитающих (250–200 млн лет тому назад) произошла стабилизация величины удельного потребления энергии — 800 000 кДж/г живой массы/жизнь. По названному параметру среди млекопитающих человек является исключением — для него эта норма в 4 раза выше.



Рис. 4. Возможные интервалы биохимической эволюции

Согласно В. Н. Ярыгину (2002) в основе эволюции лежит *приспособительное свойство живых форм. Адаптация* — это структурная, функциональная или поведенческая особенность живой системы, повышающая её шансы на успех в соответствующем местообитании. Выделяют четыре типа адаптаций, различающихся по уровню реализации и обеспечиваемому результату. Поведенческие адаптации реализуются на уровне целостного организма и обуславливают выживание в определённой среде и использование её ресурсов; анатомические реализуются на уров-

не структур и обеспечивают заданный образ жизни; физиологические адаптации реализуются на уровне жизненных функций, приводя к соответствию организма условиям среды обитания; биохимические адаптации реализуются на уровне метаболических функций, гарантируя реальность аналогичных функциональных отпращиваний в различающихся условиях среды жизни. Отсюда здоровье, мерой которого является жизнеспособность, является интегральным показателем приспособительного потенциала (генеральная адаптация) живого существа.

Список использованной литературы

1. Рахманов, С. К. Проект Концепции химического образования в общеобразовательной школе с 12-летним сроком обучения / С. К. Рахманов // Хімія: праблемы выкладання. — 2006. — № 11. — С. 13–36.
2. Чиркин, А. А. Биохимия с основами молекулярной биологии. Учебно-методический комплекс для студентов биологического факультета / А. А. Чиркин, Е. О. Данченко. — Витебск : ВГУ, 2006. — 295 с.
3. Berg, J. M. Biochemistry / J. M. Berg, J. L. Tymoczko, L. Stryer. — N-Y : W. H. Freeman and Company, 2002.