

450
450
450

2000

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM 1630 TO 1880
BY
JOHN H. COOPER
VOLUME I
1880

BOSTON
PUBLISHED BY
J. B. LEECH & CO.
1880

ЕВ_1941_AKS_308

А К А Д Е М И Я Н А У К С О Ю З А С С Р

А. И. ОПАРИН

Чл.-корр. Академии Наук СССР

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ЗНАЧИТЕЛЬНО ДОПОЛНЕННОЕ

А.И.О.
308

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1941 ЛЕНИНГРАД

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Под общей редакцией акад. *В. Л. Комарова* (председателя редколлегии), акад. *С. И. Вавилова* (зам. председателя), чл.-корр. АН *П. Ф. Юдина* (зам. председателя), акад. *О. Ю. Шмидта*, акад. *А. Е. Ферсмана*, акад. *В. А. Обручева*, акад. *Б. Д. Грекова* и чл.-корр. АН *Х. С. Кошоянца*.

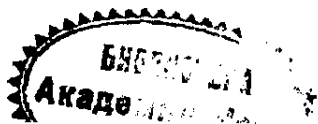
АННОТАЦИЯ

Книга чл.-корр. АН СССР проф. *А. И. Опарина* «Возникновение жизни на земле» посвящена одной из величайших проблем естествознания. С глубокой древности эта проблема привлекала к себе человеческую мысль и всегда была одним из главных пунктов, вокруг которых разворачивалась борьба двух непримиримых философских направлений — материализма и идеализма.

Книга *А. И. Опарина* дает сводку главнейших воззрений и теорий возникновения жизни на земле, содержит критический обзор этих теорий и подробное изложение современных взглядов. В книге приводится большой фактический материал из области астрономии, геохимии, биохимии и общей биологии, а также результаты длительных и успешных исследований автора в области изучения процессов, лежащих в основе жизненных явлений.

Книга *А. И. Опарина* показывает, что все концепции, противоречащие последовательному материалистическому мировоззрению, в ходе развития науки оказываются несостоятельными и остается только то понимание природы, которое соответствует ее диалектической сущности. Большой научно-исследовательский материал удачно сочетается в книге с популярной формой изложения. В этом отношении автор продолжает прекрасную традицию передовых советских ученых. Книга представляет интерес как для специалистов-биологов, так и для широких кругов советской интеллигенции.

Книга выходит в научно-популярной серии «Современные проблемы науки и техники».



ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о возникновении жизни, о появлении на Земле первичных живых существ уже давно, со времен глубокой древности, привлекает к себе человеческую мысль. Можно смело сказать, что вопрос этот принадлежит к числу величайших проблем естествознания. Нет такой религиозной или философской системы, нет такого крупного мыслителя, который не уделял бы этому вопросу серьезного внимания. То или иное решение проблемы происхождения жизни, тот или иной ответ на вопрос о том, как появились, как возникли на нашей планете населяющие ее живые существа, является совершенно обязательным для каждого мыслящего человека. Без этого ответа не может быть создано законченное целостное мировоззрение.

Как в прежние времена, так и теперь, пути, по которым шло человечество, стремясь разрешить указанную проблему, определялись в первую очередь тем, как понималась самая сущность жизни: рассматривалась ли жизнь как проявление какого-то высшего духовного начала, или считалось, что она, так же, как и весь остальной мир, материальна по своей природе. Эти две позиции, — позиции идеализма и материализма, — непримиримы между собой. Поэтому мы видим, что хотя в различные эпохи и на разных ступенях культуры вопрос о происхождении жизни разрешался различно, но всегда вокруг него разворачивалась острая философская борьба, ярко отражающая в себе борьбу классов общества.

В течение всей истории развития человеческой мысли идеализм выдвинул два принципа, исходя из которых философы этого лагеря трактовали вопрос о происхождении жизни. Первый принцип состоит в том, что живые существа создаются, внезапно возникают (самозарождаются) во вполне организованном окончательно сложившемся виде из безжизненной, косной материи в результате формирования этой материи тем или иным духовным началом, в результате ее одухотворения или одушевления.

Согласно второму принципу, жизнь, напротив, никогда не может возникать из безжизненной косной материи. Жизнь является вечной потому, что она воплощает в себе вечное духов-

ное начало, «абсолютную идею» или «сознание». Жизнь только меняет свои формы, передаваясь от одного живого существа к другому путем рождения.

С первого взгляда кажется, что указанные два принципа весьма различны, даже взаимно противоположны, но на самом деле они покоятся на одном и том же философском основании, на представлении о первичном существовании «духа». Только с точки зрения «самозарождения» этот «дух» может вселяться в косную материю откуда-то извне и таким образом одушевлять и оживлять ее, а согласно теории вечности жизни он, подобно неугасимому огню Весты, может лишь непрерывно передаваться от одного живого существа к другому.

С совершенно иных принципиально отличных от всего вышеизложенного позиций подходит к вопросу о происхождении жизни материализм, принимающий, что жизнь сама по природе своей материальна. Но и здесь мы должны различать две основных ветви, два основных направления, по которым шла человеческая мысль к разрешению интересующего нас вопроса. Согласно первому направлению (механистический материализм), жизнь есть первичное, неотъемлемое свойство всякой материи. Вся материя является живой (гилозоизм). Поэтому возникновение живых существ из неорганического материала не есть собственно возникновение жизни, а лишь образование ее форм, которое происходит чисто механическим путем. Живые существа формируются из собственно уже живого материала неорганической природы. Поэтому они могут внезапно возникать во вполне уже организованном виде (самозарождаться) подобно тому, как кристалл выделяется из маточного раствора. Таким образом, механистический материализм допускает возможность самозарождения организмов (если не сейчас, то, по крайней мере, в прошлом в отдаленные периоды существования Земли), но, в противоположность идеализму, он считает, что формирование живых существ происходит под влиянием каких-то материальных физических сил или в результате случайного, но вполне определенного сочетания материальных частиц.

Второе направление материализма (диалектический материализм) считает, что жизнь представляет собой особую форму существования движущейся материи. Эта форма возникает как новое качество материи в процессе ее исторического развития. Таким образом, в противоположность механицизму, диалектический материализм принимает действительное возникновение жизни. Жизнь не могла существовать вечно, но невозможно и спонтанное зарождение организмов в результате воздействия духовного начала или их механическое формирование непосредственно из неорганических веществ. Первичные живые существа возникли из безжизненной материи, но они могли сложиться лишь как результат длительной эволюции этой материи, лишь как определенная ступень, как определенный этап в ее историческом

развитии. Поэтому появлению жизни должна была предшествовать длительная эволюция материи, причем в процессе этой эволюции возникали все новые и новые качества, подчиняющиеся все более и более сложным закономерностям.

Философская борьба, ведущаяся вокруг проблемы о происхождении жизни, отнюдь не ослабела и в наши дни. Напротив, в течение последних десятилетий разбираемый нами вопрос приобрел особую остроту. Исходя из учения Дарвина, современная биология накопила громадный фактический материал, с несомненностью доказывающий, что высшие формы растений и животных, в том числе и человек, произошли путем длительной эволюции от простейших живых существ. Невольно встает вопрос, откуда же произошли, как возникли эти простейшие первичные существа?

В мировой литературе, посвященной этому вопросу, мы и сейчас встречаем защитников всех перечисленных выше четырех точек зрения. В дальнейшем изложении мы, лишь вкратце отметив отдельные наиболее яркие моменты истории разбираемой проблемы, сосредоточим главное свое внимание на современном ее состоянии, в частности на вопросе о том, насколько добытые за последнее время наукой объективные факты опровергают или подтверждают каждое из указанных выше направлений, по которым шла человеческая мысль, стремясь разрешить проблему происхождения жизни.

ГЛАВА I

ТЕОРИИ САМОЗАРОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ

«Повседневный опыт, непреложная очевидность, — пишет в своей интересной книге Э. Липпман [1] — в течение тысячелетий доказывали, что Солнце движется вокруг Земли. Это положение представлялось настолько достоверным, что по указанному поводу не могло возникать никаких сомнений. Точно так же представлялось совершенно очевидным и то, что при благоприятных обстоятельствах живое возникает из безжизненного. Этот «факт» казался настолько несомненным, что не было никаких поводов для более детального ознакомления с указанным явлением. У различных народов всех частей света мы поэтому с древнейших времен встречаем твердое, покоящееся часто на наблюдениях убеждение, что простейшие животные, как низшие, так и высшие, могут возникать сами собой».

Эти поверхностные повседневные наблюдения над окружающей природой настолько сильно влияют на человеческие представления, что убеждение о возможности самозарождения разнообразных живых существ из всякого рода гниющих материалов мы встречаем решительно у всех народов и на самых различных ступенях культуры. Это убеждение прошло через тысячелетия и сохранилось даже до настоящего времени. Даже в наши дни, в период расцвета точного естествознания, в передовых культурных странах нередко рядовой обыватель убежден в том, что черви зарождаются в навозе и гниющем мясе, а различного рода паразиты в домашнем быту возникают сами собой из отходов и всякого рода грязи. От поверхностного наблюдения ускользает, что грязь и отбросы являются только тем местом, куда паразиты откладывают свои яички, из которых развиваются новые поколения этих живых существ.

Понятно, какое громадное значение имел этот повседневный наивный опыт в создании представлений древних народов, когда природа еще не изучалась в деталях, не подвергалась анализу и расчленению, а воспринималась в целом, как она дана в непосредственном чувственном созерцании. Именно таким путем подходили к вопросу о возникновении жизни древнегрече-

ские философы. Для них не было никакого сомнения в том, что живые существа не только рождаются от себе подобных, но возникают и сами собой. Поэтому в сочинениях большинства философов древней Греции, начиная от милетцев и кончая Эпикуром, мы находим непосредственные указания на возникновение различных животных и растений из земли, воды, ила и всякого рода гниющих материалов. Так, например, уже древнейший представитель ионийской школы Фалес (родился около 630, умер около 550 до н. э.) учил, что живые существа возникают под влиянием тепла из хаотического первичного ила [2]. Другой милетец Анаксимандр (611—547 до н. э.) указывал, что все живое возникает из морской тины [3]. Ксенофан (565—473 до н. э.) учил, что все организмы образуются из земли и воды [4]. По Анаксагору (около 500—428 до н. э.) растения, животные и люди происходят из илистой земли, оплодотворенной «эфирными зародышами», попадающими в землю из воздуха с дождевой водой [5]. Эмпедокл (около 485—425 до н. э.) принимал возможность самозарождения растений и животных из неорганизованной материи [6]. По Демокриту (460—370 до н. э.) органический мир возник из воды и влажной земли при воздействии на нее атомов живого и оживляющего огня [7].

Особенно много указаний на возможность самозарождения разнообразных живых существ мы находим у Аристотеля (384—322 до н. э.) [8]. Согласно этому философу, кроме растений, которые повсеместно возникают сами собой из наиболее близкого им материала — земли, можно наблюдать первичное зарождение и ряда животных. Обычные черви, личинки пчел, ос, а также клещи, светляки и разнообразные другие насекомые зарождаются, по Аристотелю, из росы, при гниении ила и навоза, из сухого дерева, волос, пота и мяса. Всевозможные глисты рождаются из разлагающихся частей тела и экскрементов. Комары, мухи, моль, однодневки, навозные жуки, кантариды, блохи, клопы и вши (отчасти как таковые, отчасти как личинки) возникают из ила колодцев, рек и морей, из гумуса полей, из плесени и навоза, из гниющего дерева и плодов, из животных нечистот и грязи всякого рода, из уксусных осадков, а также из старой шерсти.

Не только насекомые и черви, но даже и более высоко организованные живые существа, по Аристотелю, могут самозарождаться. Так, раки, различные моллюски зарождаются из влажной земли и гниющего ила, угри и многие другие рыбы — из морской тины, песка, ила и гниющих водорослей. Даже лягушки, а при известных обстоятельствах и саламандры, могут образоваться из свернувшегося ила. Мыши возникают из влажной земли. Подобным же образом рождаются и некоторые высшие живые существа.

Однако изложенные выше указания на возникновение живых существ из неорганизованной материи мы должны рассматривать

лишь как результат непосредственного восприятия явлений окружающей природы. Философское обоснование этих явлений далеко выходило за рамки теории самозарождения и содержало в себе зародыши всех тех концепций, которые впоследствии были развиты по вопросу о происхождении жизни. Основным принципом милетских философов (Фалес, Анаксимандр и Анаксимен) явилось признание объективного существования материи, которая представляет собой вечно живое, вечно изменяющееся первоначало. Поэтому, хотя они и говорят о возникновении живых существ из ила и тины, но это не есть первичное зарождение в прямом смысле слова, так как для этих философов весь мир изначала представляется живым. Таким образом, мы уже здесь имеем элементы концепции о вечности жизни. Однако у милетцев она носит стихийно-материалистический характер, так как они отрицали одухотворение материи извне какой-нибудь божественной силой.

Особое развитие получил принцип вечности жизни у Анаксагора в его учении о «панспермии». Согласно учению этого философа, невозможно ни возникновение, ни уничтожение жизни. Образование растений и животных из илистой земли не есть самозарождение в прямом смысле слова. Для этого необходимо оплодотворение материи непреходящими, неизменными и бесконечно малыми семенами («спермата»), «эфирными зародышами», получающими жизнь от небесного огня. Эти зародыши рассеяны повсюду и попадают на землю из воздуха с дождевой водой. В известном смысле принцип вечности жизни не чужд и Эмпедоклу, по учению которого растения и животные образуются хотя и из неорганизованных, но уже живых веществ или путем рождения от «себе подобных», или от «неподобных» (путем самозарождения), причем в последнем случае оплодотворяющим и несущим жизнь началом является тепло солнца. Наконец, по Эпикуру (342—270 до н. э.) [10] зарождение червей и других животных из земли и навоза не более удивительно, чем появление живого цыпленка из яйца, так как Земля изначала обладала производительной силой и является «первичной матерью» растений, животных и людей, и лишь с возрастом она, — как и настоящая мать, — почти совсем потеряла свою первоначальную производящую силу.

Но древнегреческим философам, которые были прирожденными диалектиками, не был чужд и принцип эволюционного развития материи. Уже у милетцев материя находится в вечном потоке, где «ничто не остается неподвижным и неизменным», а все движется, изменяется, возникает и исчезает [11]. Дальнейшее развитие этого принципа мы находим у Гераклита (около 540—484 до н. э.). По Гераклиту, самая истина есть прежде всего жизнь, которая вечно движется, рождается, становится. Этот философ признавал изменение, процесс вечно текущей жизни высшим законом всего сущего. Наши тела

текут, как ручьи, материя возобновляется в них, как вода в потоке.

Стихию жизни Гераклит представлял в виде огня, но не пламени, а скорее самого процесса горения. «Мир, единый из всего, не создан никем из богов и никем из людей, а был, есть и будет вечно живым огнем, закономерно воспламеняющимся и закономерно угасающим» [12].

Эти идеи Гераклита, и в особенности его тезис об эволюции мира на основе борьбы противоположностей, нашли свое развитие у Эмпедокла, который с поразительной яркостью и глубоким научным предвидением развил учение об эволюции как в космическом масштабе, так и в царстве живых существ. Последние возникают путем сочетания основных стихий: огня, земли, воздуха и воды, изменяются и вновь исчезают в борьбе двух противоположных вселенских сил — Любви и Вражды.

В учении Демокрита древнегреческий материализм дошел до вершины своего развития, хотя и приобрел уже несколько механистический характер. По учению этого философа, в основе природы вещей вселенной лежит материя, состоящая из множества мельчайших частиц (атомов), находящихся в вечном движении и разделенных пустыми пространствами. Соединения и разъединения атомов лежат в основе видимых нами процессов изменения, возникновения, разрушения, гибели или развития. Органический мир возник из воды, при этом живые существа прошли длинный путь развития прежде чем стать такими, какими мы их видим.

Но на ряду с этими эволюционными представлениями Демокрит особенно подчеркивает принцип механического самоформирования жизни в результате собственного движения атомов. Согласно этому философу, живые существа возникают тогда, когда атомы безжизненной и влажной земли случайно встречаются и соединяются с атомами огня [13].

Таким образом, в учении древнегреческих философов мы встречаемся с элементами всех представлений по вопросу о происхождении жизни, которые были развиты в последующие века. На ряду с учением о самозарождении живых существ, здесь содержится и принцип вечности жизни, и концепция эволюционного развития материи.

Совершенно особое, исключительное значение для всей последующей истории учения о происхождении жизни имели воззрения, развитые Аристотелем. Этот философ дал человечеству наиболее широкий синтез достижений античной науки, охвативший собою весь накопленный к тому времени фактический материал. Вместе с тем его учение впоследствии стало основой средневековой научной культуры и господствовало в течение почти 2000 лет над умами народов. Свое представление о возникновении жизни Аристотель развивает, главным образом, в книгах «О частях животных», «О передвижении жи-

вотных», «О происхождении животных» и наконец «О растениях». Повидимому, его взгляды с течением времени несколько изменялись, но в конечном итоге он широко развил учение о самозарождении живых существ, придав ему уже до известной степени идеалистический характер.

Согласно этому учению, на ряду с рождением животных от себе подобных происходит и всегда происходило появление живых существ из неживой материи. Аристотель считал, что живые существа, как и прочие конкретные вещи («сущности»), образуются благодаря соединению некоторого пассивного начала, «материи» (этим словом Аристотель, повидимому, обозначал то, что мы теперь называли бы материалом) с активным началом — «формой». Формой для живых существ является «энтелехия тела» — душа. Она формирует тело и движет его. Таким образом, материя не имеет жизни, но охватывается ею, целесообразно формируется, организуется при помощи силы души, целеустремленная внутренняя сущность которой (энтелехия) приводит материю в жизнь и сохраняет живой. Но душа присуща уже самым первичным элементам, из которых образуются живые существа; в меньшей степени она присуща земле, в большей степени — воде, воздуху и огню. Поэтому то, что формируется душой, существенным образом зависит от преобладания того или другого элемента. Таким образом, земля производит главным образом растения, вода — водных животных, воздух — обитателей суши, а огонь — предполагаемых обитателей небесных тел, например, Луны. Форма живых существ при происхождении «от себе подобных» зависит от «животного тепла», а при самозарождении из неорганической материи — от «солнечного тепла». Ил, навоз и прочие гниющие вещества производят живые существа не сами по себе, а вследствие оплодотворяющего действия насыщенного небесным воздухом дождя и солнечного тепла.

Мы подробно остановились на воззрениях Аристотеля потому, что под влиянием учения этого философа проходила вся дальнейшая история вопроса о возникновении живых существ. Аристотель подтвердил данные непосредственных наивных наблюдений и своим громадным авторитетом на многие века вперед предопределил дальнейшую судьбу учения о самозарождении. При этом в дальнейшем особое развитие получила именно идеалистическая сторона учения об энтелехии. Большое значение сыграло и то обстоятельство, что учение Аристотеля через посредство римских философов и главным образом неоплатоников (Плотин 204—270) было воспринято и подтверждено «отцами христианской церкви», в частности Базилиусом (315—379) и блаженным Августином (354—430) [14].

Базилиус учил, что как раньше Земля, согласно повелению божью, порождала различные травы, деревья и животных, так и сейчас эти свойства остаются в силе, и поэтому из земли мо-

гут образовываться живые существа: саранча, мыши и т. п. Блаженный Августин принимал самозарождение живых существ за непреложную истину и в своем учении стремился только обосновать это явление с точки зрения мировоззрения христианской церкви. Подобно тому, как бог, — говорил он, — как правило создает вино из воды и земли через посредство виноградной лозы и виноградного сока, но в некоторых случаях, как в Кане Галилейской, он может создавать его и непосредственно из воды, так и в отношении живых существ он может заставить их рождаться от семени, или происходить из неорганической материи, где заложены невидимые семена (*occulta semina*). Таким образом, Августин видел в самозарождении живых существ выявление божественного произвола, нарушающего обычный закономерный порядок вещей. Этим он утвердил учение о самозарождении в качестве непреложной догмы, поддерживаемой всем авторитетом христианской церкви.

Понятно поэтому, что дальнейшее развитие разбираемой нами проблемы долгое время не выходило из рамок учения о самозарождении. Средневековые ученые в своих сочинениях лишь подтверждали описанные Аристотелем «факты» возникновения живых существ из гниющей материи или пополняли их еще более фантастическими наблюдениями и опытами. В этом отношении очень характерным для средневековых методов познания природы является широко распространенное учение о гусином дереве, о растительном ягненке и о гомункулусе.

Согласно свидетельству весьма авторитетных ученых того времени и многочисленных путешественников, гуси и утки зарождаются из морских раковин, которые в свою очередь рождаются из плодов деревьев, в частности из жолудей. Из этих последних возможно и непосредственное образование птиц. Это сказание о гусином дереве мы находим уже в начале XI в. у кардинала Пьетро Дамиани (1007—1072). Английский энциклопедист Александр Некем (1157—1217) развивает учение об образовании птиц из хвойных деревьев при соприкосновении их с солью морской воды. В дальнейшем это учение о растительном происхождении гусей и уток сделалось настолько общепринятым, что их мясо стало употребляться как постная пища, что было потом запрещено специальным распоряжением папы Иннокентия III (1215) [15].

Интересно, что учение о гусином дереве просуществовало до конца XVI и даже до начала XVII вв. Ряд авторов излагает по этому поводу свои личные наблюдения и даже приводит более или менее фантастические рисунки, показывающие, как птицы постепенно возникают из плодов деревьев. Повидимому, эта легенда основана на наивном истолковании поверхностных наблюдений над особом рода усоногими рачками, так называемыми морскими уточками (*Lepas anatifera*). Во взрослом состоянии эти морские животные прикрепляются особым стебельком

к камням, скалам, дну кораблей и к случайно упавшим в воду деревьям. При этом они образуют похожую на раковину известковую оболочку. На берегах Северной Шотландии, Ирландии и расположенных вблизи них островов это происходит в то время года, когда туда с севера прилетают выводки молодых полярных гусей. Эти два явления были сопоставлены между собой, и фантазия дорисовала картину образования неизвестно откуда появившихся птиц из морских уток, находящихся на упавших в воду стволах деревьев.

Может быть, аналогичные поверхностные наблюдения лежат в основе и другого сказания о растительном ягненке, о котором сообщает ряд путешественников по восточным странам: Одорико ди Парденоне (ум. 1331), Мондевиль (1300—1372) и др. Согласно свидетельству этих путешественников, им рассказывали, или даже они, якобы, сами видели растения или целые деревья, в дынеобразных плодах которых находились зародившиеся там ягнята, мясо которых употреблялось будто бы местным населением в пищу [16].

Учение о гомункулусе возникло на почве алхимических опытов. Повидимому, оно появилось еще в первом веке нашей эры. Оно основывается на представлении о том, что путем смешивания пассивного материнского начала и активного мужского можно искусственно воспроизвести явление зарождения и получить эмбрион, маленького человека, гомункулуса. Это учение проходит через все средние века и еще в середине XVI в. у знаменитого врача и алхимика Парацельса мы находим «точный» рецепт изготовления гомункулуса. Для этого нужно взять человеческую сперму, поместить ее в особый сосуд и в течение определенного времени подвергать ряду сложных манипуляций. Тогда образуется маленький человек, которого нужно питать человеческой кровью.

Парацельс вообще был убежденным сторонником самозарождения живых существ. Он считал, что в теле животных и человека господствует особая жизненная сила, которую он называл «духом жизни» («*spiritus vitae*»). Эта сила определяет собой формирование организма и его дальнейшее поведение. В полном соответствии с этими философскими взглядами Парацельс развивал представление о возможности зарождения жизни. Он даже приводит ряд произведенных им наблюдений над самозарождением мышей, лягушек, угрей, черепах и т. п. из воды, воздуха, соломы, гниющего дерева и т. д. [17].

Несмотря на то, что во второй половине XVI и особенно в XVII вв. наблюдения над явлениями природы становятся уже более точными, и начинает пробивать себе дорогу эксперимент, — идея о первичном самозарождении живых существ остается еще в полной силе в умах тогдашних исследователей и ученых. Известный брюссельский врач ван-Гельмонт (1577 — 1644) уже настолько владел методами точного эксперимента,

что мог вплотную подойти к разрешению сложного вопроса о питании растений, но вместе с тем он считал совершенно неоспоримой возможность самозарождения живых существ. Мало того, он обосновал это положение рядом наблюдений и опытов. Именно ван-Гельмонту принадлежит широко известный рецепт получения мышей из зерна пшеницы. Так как зарождающим началом, по его мнению, могут служить человеческие испарения, то нужно положить грязную рубашку в какой-нибудь сосуд, содержащий семена пшеницы. Через 21 день «ферментация» прекратится, и испарения рубашки вместе с испарениями зерна образуют живых мышей. При этом ван-Гельмонта особенно поражало то, что эти искусственно полученные мыши были совершенно сходны с натуральными, происшедшими из родительского семени [18].

Творец теории кровообращения Гарвей (1578—1657) тоже не отрицал произвольного самозарождения. Хотя ему и принадлежит знаменитая фраза «*omne vivum ex ovo*» («все живое из яйца»), но он придавал здесь слову «яйцо» очень широкое толкование и считал вполне возможным *generatio aequivoca* (произвольное самозарождение) червей, насекомых и т. п. в результате действия особых сил, выявляющихся при гниении и аналогичных процессах [19].

Против идеалистического толкования явления самозарождения впервые восстал Декарт (1596—1650) [20]. Этот великий французский философ и ученый хотя и считал самопроизвольное возникновение живых существ несомненным, но категорически отвергал положение, что это зарождение происходит под влиянием «*anima vegetativa*» схоластиков, «духа жизни» Парацельса, «Архея» ван-Гельмонта или еще какого-либо духовного начала. По его убеждению, живой организм не нуждается для своего объяснения в какой-то особой закономерности, в «жизненной силе». Он представляет собой не что иное, как весьма сложную, но по своему строению вполне понятную машину, движения которой зависят исключительно от давления и столкновения частиц вещества, подобно движению колес в башенных часах.

Самозарождение животных и растений Декарт трактует как естественный процесс, который всегда наступает при определенных, правда, еще плохо изученных нами условиях. В частности при лежании влажной земли на солнечном свете или при явлениях гниения возникают всевозможные растения и животные, как-то: черви, мухи и другие насекомые.

Поворотным пунктом в учении о произвольном самозарождении справедливо считаются опыты тосканского врача Франческо Реди (1626—1697). Этот ученый впервые выступил с экспериментальными опровержениями веры в самозарождение, нераздельно господствовавшей в течение многих столетий. В своем сочинении «*Esperienze intorno alla generazione degl'insetti*»

«Опыты над происхождением насекомых» (1668) этот ученый описывает ряд произведенных им опытов, которые доказывают, что белые червяки в мясе являются личинками мух. Он помещал мясо или рыбу в большой сосуд, покрытый тончайшей неаполитанской кисеей, и для еще более надежной защиты покрывал сосуд затянутой кисеей рамкой. И хотя мухи в большом количестве садились на кисею, но в самом мясе червяков не появлялось. Реди сообщает, что ему удавалось наблюдать, как мухи откладывали свои яички на кисее, но только в том случае, если эти яички попадали на мясо, из них развивались мясные черви. Исходя из этого, Реди пришел к заключению, что гниющие вещества представляют собой лишь место, или гнездо для развития насекомых, но необходимой предпосылкой для их появления служит откладывание яичек, без которых черви никогда не возникают [21].

Однако не нужно думать, что Реди полностью отшелся от представлений о самозарождении. Несмотря на свои блестящие опыты и правильное их истолкование, этот ученый в отношении других случаев вполне допускал возможность самозарождения; так, например, он считал, что кишечные и древесные черви возникают сами собой из гниющих материалов. Точно так же, по его мнению, червячки, которые находятся в дубовых галлах, образуются из растительных соков. Только позднее это мнение было опровергнуто исследованиями падуанского медика и естествоиспытателя Валлисниери (1661—1730) [22].

Однако вера в самозарождение животных и растений была еще настолько сильна, что, несмотря на многочисленные экспериментальные опровержения, она продержалась в течение всего XVIII и даже до начала XIX в. Даже у Ж. Ламарка (1744—1829) в его «Philosophie zoologique» «Философии зоологии» [23] мы находим еще указания на возможность произвольного зарождения грибов, некоторых паразитов и других низших организмов. Лишь очень постепенно, благодаря все уточнявшимся наблюдениям над живой природой и главным образом благодаря более детальному знакомству со сложным строением живых существ, была осознана невозможность возникновения таких сложных образований из бесструктурной грязи и гниющей материи. Этим путем из научного обихода была изгнана вера в самозарождение всех высоко организованных живых существ. Но самая идея о первичном зарождении не исчезла, а, напротив, получила в течение XVIII и XIX вв. дальнейшее развитие по отношению к простейшим мельчайшим живым существам — микроорганизмам.

Почти в то же время, когда Реди производил свои знаменитые опыты, голландский ученый Антон Левенгук (1632—1723) при помощи собственноручно изготовленных им увеличительных стекол открыл новый мир невидимых простым глазом живых существ. В письмах в Лондонское королевское обще-

ство Левенгук подробно описывает этих мельчайших «живых зверьков» («*viva animalcula*»), обнаруженных им в долго стоявшей на воздухе дождевой воде, в различных настоях, в испражнениях, в зубном налете и т. д. При помощи своих луп Левенгук видел представителей почти всех известных нам в настоящее время классов микроорганизмов. Он дает изображение и поразительно точные для того времени описания инфузорий, дрожжей, бактерий и т. п. [24].

Любопытное открытие голландского ученого привлекло к себе всеобщее внимание и вызвало многочисленные подражания. Микроорганизмы стали открывать повсюду, где происходило гниение или брожение органических веществ. Они были обнаружены в различного рода растительных настоях и отварах, в гниющем мясе, в испорченном бульоне, в кислом молоке, в бродящем сусле и т. д. Стоило только поставить на некоторое время в теплое место скоро портящееся или легко загнивающее вещество, как в нем сейчас же начинали развиваться микроскопические живые существа, которых ранее там не было. При распространенной в то время вере в произвольное зарождение живых существ невольно являлась мысль, что именно здесь, в разлагающихся отварах и настоях и происходит самозарождение живых микробов из неживой материи.

Сам Левенгук не придерживался этой точки зрения. Он считал, что зародыши микроорганизмов попадали в его настой из воздуха. Это мнение было подтверждено экспериментальным путем в опытах Луи Жобло (1645—1723). Указанный последователь Левенгука брал кишащие микроорганизмами сенные настои, кипятил их в течение 15 минут и затем разливал поровну в два различных сосуда. Один из этих сосудов, раньше чем он успевал остыть, плотно закрывали пергаментом, другой оставляли стоять открытым; в последнем обильно развивались мельчайшие живые существа (повидимому, инфузории), а в первом их не появлялось. В конце опыта пергамент с первого сосуда также удалялся, после чего настой быстро заселялся микроорганизмами [25]. Однако опыты Жобло не показались его современникам достаточно убедительными и были впоследствии совершенно забыты.

Открытие повсеместно распространенных мельчайших зародышей жизни нашло отражение в философских построениях Лейбница (1646—1716) [26]. Его учение о монадах заключало в себе метафизическую переработку современных ему данных математики и естествознания. Монады, по Лейбницу, представляют собой первичные силовые центры духовного характера. Как исходное начало всего сущего они должны отличаться абсолютной простотой и неделимостью. Так как материя сама по себе пассивна, то монады представляют собой духовную субстанцию, ибо только духу, согласно взглядам Лейбница, присуща способность непрерывной деятельности.

Исходя из этих положений, Лейбниц считал, что жизнь не может быть объяснена на основе только телесных сил. В частности невозможно самозарождение высших растений и животных из гниющих материалов, как это и устанавливается непосредственными опытами. Возникновение и исчезновение живых существ есть лишь развертывание и свертывание («evolution et involution») вечно существующих зародышей. Те вещества, которые мы обычно считаем неорганическими, содержат в себе целый мир зародышей жизни. Даже в уксусе и клейстере переплетчиков, — пишет Лейбниц, — находятся эти зародыши. Таким образом, все тела могут содержать в себе органические образования, но еще не видимые, не готовые, а лишь в зародышах. В этих зародышах уже заложены, предсуществуют все условия для будущей специфической организации, в результате чего из них путем последовательного развития и образуются живые существа.

Идеи Лейбница с некоторыми существенными оговорками были восприняты французским естествоиспытателем Бюффоном (1707—1788) [27]. Бюффон считал, что вся природа наполнена «вездесущими единицами или зародышами жизни», которые, однако, имеют материальный характер. Благодаря присущим им свойствам эти частицы способны соединяться и образовывать низшие растения и животные, из которых потом возникают уже высокоорганизованные существа. Наоборот, при загнивании трупа его индивидуальное существование прекращается, но живые частицы, ранее входившие в его состав, снова могут соединяться в живые тела: из них происходят микроорганизмы. В этом Бюффон видел объяснение явления самозарождения бактерий и инфузорий в гниющих органических жидкостях, которое он считал несомненным «фактом».

На этой же точке зрения стоял современник и друг Бюффона, шотландский священник и натуралист Нидгэм (1713—1781). Он верил, что в каждой микроскопической частице органической материи скрыта особая «жизненная сила», которая может оживлять органическую материю настоя. Таким образом, Нидгэм развивал довольно обычные для того времени виталистические воззрения на сущность жизни и ее зарождение. Однако роль этого ученого в разбираемой нами проблеме заключается не столько в его рассуждениях, сколько в тех обширных экспериментальных исследованиях, которые он произвел, стремясь подтвердить возможность произвольного зарождения микроорганизмов. «Я взял, — писал Нидгэм, — некоторое количество очень горячей бараньей подливки прямо с огня и поместил ее в закрытый сосуд с настолько хорошо пригнанной пробкой, что его можно было считать закрытым герметически» После этого Нидгэм еще дополнительно осторожно нагревал сосуд на горячей золе. Но несмотря на все это, по прошествии нескольких дней сосуд кишел микроорганизмами. Подобным же образом он исследовал различные органические жидкости и настои и всегда с одинаковым

результатом. Из этого, естественно, он вывел заключение о полной возможности и даже обязательности самозарождения микроорганизмов из гниющих органических веществ [28].

Эти представления Бюффона и Нидгэма и даже самые эксперименты последнего подверглись жестокой критике со стороны итальянского ученого, аббата Спалланцани (1729—1799) [29]. Спалланцани так же, как и Нидгэм, производил опыты, цель которых состояла в установлении или опровержении возможности самозарождения. Но он пришел на основании этих опытов к прямо противоположным выводам. Он утверждал, что опыты Нидгэма удались только благодаря недостаточному нагреванию сосудов с жидкостью и, следовательно, неполной их стерилизации. Сам он произвел сотни опытов, в которых растительные отвары и другие органические жидкости подвергались более или менее длительному кипячению, после чего содержащий их сосуд запаивался, и таким образом к жидкостям преграждался доступ воздуха, который, по представлению Спалланцани, и является носителем зародышей микроорганизмов. Во всех тех случаях, когда указанная операция была произведена с надлежащей тщательностью, помещенные в сосуд жидкости не загнивали и живые существа в них не появлялись.

Нидгэм на это возражал, что, во-первых, при продолжительном нагревании жидкостей портился воздух, находящийся в сосудах, и это прежде всего являлось причиной отсутствия развития микроорганизмов; во-вторых, при длительном нагревании разрушалась та «жизненная сила» органических настоев, которая, повидимому, вообще является капризной и непостоянной и не может выдерживать продолжительных резких воздействий. Таким образом, Нидгэм считал, что не он нагревал жидкости слишком слабо, а наоборот, в опытах Спалланцани эти жидкости были нагреты слишком сильно, и этим была разрушена зарождающаяся сила настоев.

Чтобы отвести эти возражения Спалланцани вновь вернулся к своим экспериментам и в большой серии опытов, проведенной с исключительной тщательностью, он ответил почти на все выдвинутые Нидгэмом возражения [29]. Тем не менее, ему не удалось убедить своих современников, и доктрина о произвольном зарождении защищалась многими учеными того времени вплоть до середины XIX в.¹

¹ Интересно отметить, что параллельно с Спалланцани и примерно в то же самое время аналогичные опыты проводил наш соотечественник М. М. Тереховский, который был командирован из Санкт-Петербурга в Страсбург. В своей диссертации, опубликованной им в 1775 г. на латинском языке под заглавием: «Dissertatio inauguralis zoologico-physiologica de Chao infusorio Linnaei quam pro licentia summos in medicina honores et privilegia doctoralia legitime imperandi in incluta Argento-ratensium Universitate solenni naturae curiosorum disquisitioni Anno 1775 die 23 Junii sistit Martinus Terechowsky ucraino-russus L. C. horis pomeridianis a secunda ad quintam Argentorati», Тереховский приходит к тем же выводам, что и Спалланцани [30].

Яркое отражение этих представлений конца XVIII и начала XIX вв. мы находим в немецкой классической натурфилософии. Хотя Кант [31] (1724—1804) считал, что первичная внутренняя причина возникновения организмов лежит в сверхчувственном (трансцендентальном), и поэтому гипотеза самозарождения является лишь «смелой авантюрой разума», — последующие натурфилософы Гегель (1770—1831) и Шеллинг (1775—1854) широко развивали в своих сочинениях идею о *generatio aequivoca* (произвольном зарождении). Так, например, Гегель указывал, что «Земля и море имели ярко выраженную потребность быть оживленными», «но общим видом оживления является *generatio aequivoca*»; далее в своей «Энциклопедии» он писал, что «Земля и в особенности море порождают всевозможные лишай, инфузории, неизмеримое количество фосфорисцирующих жизненных точек» [32].

По Шеллингу [33], между Землей, растительным и животным миром существует полная идентичность. Сама Земля превращается в растения и животных вследствие того, что так называемая мертвая материя представляет собой лишь «спящий растительный и животный мир».

Последователь Шеллинга натурфилософ Л. Окен [34] 1779—1851) развивал ту мысль, что земля при своем метаморфозе переходит в углерод, а этот последний путем смешивания с водой и воздухом превращается в «оводненный окисленный углерод», который как бесформенная первичная слизь представляет собой основание всех имеющих форму организмов; из этой первичной слизи происходит вся жизнь. Под влиянием света она сначала по прообразу планет превращается в сферические пузырьки («слизистые первичные пузырьки») или инфузории, а затем через их метаморфоз возникают растения и животные, которые потом при гниении снова превращаются в инфузорий. На ряду с этим возможно и настоящее произвольное зарождение клещей, червей и т. п. путем непосредственной простой коагуляции первичной слизи.

Таким образом, в высказываниях Окена по вопросу о происхождении жизни на ряду с вульгарными представлениями о самозарождении встречаются элементы исключительного научного предвидения. «Окен, — писал по этому поводу Ф. Энгельс, — открывает умозрительным путем протоплазму и клетку».¹ Вместе с тем, что особенно важно, Окен, — хотя и в очень еще смутной форме, — уже выдвигает теорию о возникновении жизни в результате последовательной эволюции материи.

Одновременно с теоретическими высказываниями по вопросу о произвольном зарождении жизни в первой половине XIX в. осуществляется целый ряд опытов, цель которых была доказать или опровергнуть возможность самозарождения микробов.

¹ Ф. Энгельс. Диалектика природы, стр. 17. Партиздат, 1933.

Особенно много труда и экспериментального искусства было затрачено на выяснение значения воздуха при появлении живых существ в предварительно прогретых жидкостях. Знаменитый французский химик Л. Гей-Люссак (1778—1850) путем прямых анализов показал, что в сосудах, запаянных после кипячения содержащихся в них жидкостей, отсутствует кислород, т. е. та составная часть воздуха, которая поддерживает горение и дыхание. В этом можно было усмотреть подтверждение взглядов, развитых Нидгэмом. Для выяснения роли кислорода в подобных опытах Гей-Люссак наполнял ртутью запаянную с одного конца стеклянную трубку (эвдиометр) и устанавливал ее в сосуд с ртутью закрытым концом кверху. Затем под ртутью в трубку была введена ягода винограда, которая раздавливалась введенной через ртуть проволокой. Вытекший виноградный сок занимал верхнюю часть трубки. Долгое время он оставался прозрачным и на вид совершенно стерильным. Однако после впускания в трубку пузырька воздуха сок быстро начинал бродить и заселялся микроорганизмами [35].

Этот опыт, который впоследствии был широко использован сторонниками самозарождения, интересен с той точки зрения, что в нем источниками заражения, как мы теперь знаем, служили зародыши микроорганизмов, находившиеся на поверхности ртути, о чем ни сам экспериментатор, ни его последующие толкователи, очевидно, не догадывались.

В 1836 г. известный немецкий натуралист Т. Шванн (1810—1882), основатель учения о клетке, подверг вопрос о значении кислорода новой экспериментальной проверке. Он пропускал струю прогретого в стеклянной трубке воздуха в сосуд с обесположенным мясным бульоном и показал, что в этих условиях бульон не загнивает. Следовательно, и в присутствии постоянно возобновляющейся струи стерилизованного воздуха самозарождения не происходит. Однако повторение этого опыта с жидкостями, содержащими в себе сахар, дало совершенно иные результаты. Несмотря на то, что обработка их, по словам автора, ничем не отличалась от обработки бульона, в них часто развивалась масса живых микроорганизмов [36].

В том же году Фр. Шульце (1815—1873) произвел аналогичные опыты, видоизмененные только в том отношении, что поступающий в сосуд со стерилизованной жидкостью воздух освобождался от зародышей не нагреванием, а пропусканием через крепкую серную кислоту. Результаты получались такие же. Однако многочисленные повторения опытов Шульце давали разноречивые результаты, и в некоторых случаях в жидкостях появлялись микроорганизмы [37].

Несколько позднее (1853) гейдельбергские профессора Г. Шредер и Т. Душ еще более упростили этот опыт, обеззараживая воздух простым пропусканием его через слой стерилизованной ваты, которая служила прекрасным фильтром, задержи-

вающим все зародыши микроорганизмов. Таким образом, они, не подвергая воздух какой-либо химической обработке и не действуя на него нагреванием, могли освободить его от заражающего начала. И действительно, в ряде опытов этих ученых мясной отвар и пивная бражка, подвергнутые кипячению, оставались затем в течение многих недель без изменения. Однако молоко и мясо без воды при таких же условиях быстро загнивали и наполнялись микроорганизмами [38].

Таким образом, несмотря на то, что в основном все сделанные опыты были направлены к опровержению возможности самозарождения, их доказательность была в недостаточной степени велика, так как в некоторых случаях по невыясненным причинам они не удавались, и в жидкостях появлялись микроорганизмы. Мы в настоящее время знаем, что это происходило в результате той или иной случайно допущенной технической погрешности, но современниками это воспринималось иначе. Все эти неудачи при известном желании легко могли быть истолкованы и истолковывались фактически в том направлении, что самозарождение, хотя и не всегда, но при известных обстоятельствах может иметь место. Этому мнению в частности придерживались Дюма, Негели и ряд других выдающихся ученых середины XIX в.

Борьба мнений по вопросу о произвольном зарождении микроорганизмов достигла своего наивысшего напряжения, когда в 1859 г. Ф. Пуше (1800—1878) [39] опубликовал свои статьи, где он старался экспериментально доказать возможность самозарождения, считая совершенно невероятным, чтобы жидкости всегда заражались микроорганизмами из воздуха. В своем обширном, содержащем около 700 страниц, труде Пуше развил свою виталистическую теорию самозарождения, в основном очень напоминающую взгляды Нидгэма. Каждому явлению самозарождения предшествуют брожение или гниение органических веществ. Только вещества, входившие в состав живых организмов, могут породить новую жизнь. Под влиянием брожения или гниения органические частицы трупов распадаются, но, проблуждав некоторое время на свободе, они снова соединяются в силу присущей им способности, и таким образом создаются новые живые существа. Пуше считал, что для возникновения организмов необходимо предсуществование некоторой «жизненной силы», и поэтому он никогда не верил, что живые существа могут возникнуть *de novo* в растворах минеральных веществ. Для подтверждения своих взглядов Пуше в серии многочисленных опытов повторил исследования своих предшественников. При этом он всегда получал положительные с его точки зрения результаты, а именно в исследованных им органических жидкостях всегда происходило развитие микроорганизмов.

Работы Пуше произвели большое впечатление на современников. Французская Академия наук назначила премию тому, кто

точными и доказательными опытами прольет свет на вопрос о первичном зарождении живых существ. Премия была присуждена Луи Пастеру (1822—1895) [40], опубликовавшему в 1862 г. свои работы о самозарождении, в которых он рядом блестящих, не вызывающих никаких сомнений опытов доказал невозможность образования микроорганизмов из различных настоев и растворов органических веществ. Пастеру это удалось осуществить только потому, что он отказался от слепого эмпиризма и в своих работах широко охватил весь вопрос, дал рациональное обоснование всем ранее произведенным опытам и указал источники ошибок своих предшественников. Прежде всего Пастер выяснил вопрос о присутствии микроорганизмов в воздухе, который, как мы видели выше, считался одним из главных источников заражения. Сторонники самозарождения, и в частности Пуше, неоднократно высказывали сомнения по поводу присутствия здесь зародышей жизни и просили показать ту «несметную массу микроорганизмов», которые находятся в воздухе.

Пастер разрешил указанную задачу, применив весьма несложный метод. Он при помощи аспиратора протягивал воздух через трубку, в которую была вложена гремучая вата. Как было показано еще Шредером и Душем, все мельчайшие частицы, находящиеся в воздухе, должны были задерживаться этой ватой и оставаться в трубке. По прошествии 24 часов ток воздуха прекращался, и ватная пробка с осевшей на нее пылью вынималась и растворялась в смеси спирта и эфира. При этом все находившиеся в ней твердые частицы оседали на дно, их можно было промыть растворителем и затем исследовать под микроскопом. Оказалось, что всегда здесь обнаруживались тысячи организованных телец, ничем не отличающихся от различных микроорганизмов и их зародышей. Таким путем было доказано присутствие значительного количества организованных тел в окружающей нас атмосфере.

Далее Пастер показал, что именно эти находящиеся в воздухе зародыши и могут служить в ряде случаев источником заражения. Прежде всего он повторил, несколько видоизменив и усовершенствовав их, опыты Шванна. Кипячение органических жидкостей производилось в круглодонной колбе, соединенной с платиновой трубкой при помощи длинной оттянутой шейки. Трубка нагревалась на газовой печи до красного каления. Таким образом, воздух, поступающий в колбу после окончания кипячения находящейся в ней жидкости, проходил через раскаленную платиновую трубку, где должны были погибнуть все находившиеся в воздухе зародыши. Воздух перед поступлением из трубки в колбу охлаждался струей воды. После наполнения воздухом колба запаивалась и в таком виде могла храниться как угодно долго. При такой постановке опытов во всех случаях без исключения растворы не загнивали, и в них не происходило образования микроорганизмов. Но, если сломать за-

паянное горлышко колбы и бросить в находящуюся в ней жидкость ватную пробку, через которую протягивался воздух, и затем снова немедленно запаять горлышко, то уже через небольшой промежуток времени жидкость наполнится плесенью, бактериями и даже инфузориями. Значит, органическая жидкость не потеряла способности питать микроорганизмы, и зародыши, находящиеся в воздухе и задержанные на ватной пробке, действительно легко могут развиваться в этой жидкости.

Впоследствии Пастер обеззараживал поступающий в колбу воздух и без применения нагревания. Для этого он, с одной стороны, использовал метод Шредера и Душа и пропускал воздух через ватную пробку, с другой стороны, разработал для этого свой оригинальный способ. Обычно применявшаяся Пастером круглодонная колба до половины наполнялась испытуемой жидкостью, после чего горлышко колбы размягчалось на огне паяльной горелки и оттягивалось. Оттянутой части придавалась изогнутая форма в виде латинской буквы S. Затем содержимое колбы кипятилось без всяких дальнейших предосторожностей. После того как из отверстия оттянутого горла начинала выходить сильная струя пара, кипячение прекращалось, и колбе давали остыть. Содержимое колбы при этом оставалось без всяких изменений, хотя в этом случае раствор непосредственно соединялся при помощи изогнутого горла с окружающей атмосферой. Это происходило в результате того, что все пылинки, в том числе и зародыши микроорганизмов, задерживались на изогнутых поверхностях S-образной трубки. Если горло срезалось, то жидкость быстро заселялась микроорганизмами. То же происходило если колбу нагибали с таким расчетом, чтобы ее содержимое смыло со стенок S-образной трубки осевшие споры. В этом опыте воздух уже решительно не подвергался никакой обработке, и все-таки загнивания жидкости не происходило постольку, поскольку к ней был прегражден доступ взвешенным в воздухе зародышам.

Дальнейшие исследования Пастера показали, что содержание жизнеспособных микроорганизмов в воздухе далеко не постоянно, и меняется в зависимости как от времени года, так и от места исследования. Наибольшее количество зародышей жизни находится в воздухе городов и населенных местностей. Воздух полей и лесов менее богат микроорганизмами, и наконец в горах, в особенности на больших высотах, число этих мельчайших живых существ, носящихся в воздухе, совершенно ничтожно. Поэтому там можно вскрывать колбы со стерилизованной жидкостью без того, чтобы они обязательно подвергались заражению. В ряде случаев такие колбы после запаивания оставались стерильными, несмотря на то, что в них поступал воздух гор, не подвергавшийся никакой обработке.

Вместе с тем Пастер установил, что не только воздух является источником заражения органических жидкостей. Заро-

дыши микроорганизмов находятся на поверхности всех тех предметов, с которыми мы имеем дело во время экспериментов. Поэтому все эти поверхности должны быть строжайшим образом обеззаражены. Пастер доказал, что появление микроорганизмов в опытах предыдущих исследователей всегда было обусловлено тем, что у них вследствие методических неточностей не были устранены полностью все источники заражения. Так, например, прямыми опытами Пастера было установлено, что источником заражения виноградного сока у Гей-Люссака служили микроорганизмы, находящиеся на поверхности ртути. В других случаях они попадали с не вполне простерилизованной посуды. Если все источники ошибок устранены, то, — как это блестяще показал Пастер в своих многочисленных опытах, — заражения не происходит в ста случаях из ста. Мало того, Пастеру удалось показать, что можно и без всякого нагревания или иного воздействия сохранить неопределенно долго такие легко гнивающие жидкости, как моча и кровь. Стоит только извлечь их из организма животного, где они не содержат бактерий, с принятием мер предосторожности против попадания зародышей извне, — в этом случае указанные жидкости не загнивают, и их можно сохранять как угодно долго.

Пастер не только добился точных и однородных результатов, но также разъяснил противоречивые данные других авторов. Он опроверг предположение о том, что гниющие настои родят микробов и показал, что, наоборот, самое гниение этих жидкостей происходит в результате жизнедеятельности микроорганизмов, попавших в них извне.

Понятно, что сторонники самозарождения микробов сдались не сразу, и после опубликования работ Пастера было произведено еще не мало опытов, как будто бы подтверждающих возможность возникновения живых существ при некоторых специальных условиях. Наиболее серьезными и интересными в этом отношении были опыты Бастиана (1837—1915) [41], который показал, что в прокипяченных сенных растворах обнаруживается появление микроорганизмов даже в том случае, если содержащие их колбы вскрывать на вершинах гор или подвергать поступающий в них воздух прокаливанию. Исследования Пастера подтвердили фактическую сторону этих опытов, но вместе с тем он доказал, что самозарождение микробов и здесь не имеет места. Споры сенной палочки, которая при этом появляется в настоях, могут выдерживать продолжительное кипячение и оставаться способными к последующему прорастанию. Если же подвергнуть сенной настой нагреванию в автоклаве до 120° , или последовательному двукратному кипячению, то он, как и прочие органические жидкости, будет сохранять свою стерильность при доступе обеззараженного воздуха. Двукратное кипячение в этом случае действовало следующим образом: первое нагревание настоя убивало все вегетативные формы бактерий, но оставляло

споры. После охлаждения из спор развивались бактерии, но они убивались вторичным кипячением, не успев еще образовать новые споры.

После Бастиана Пастеру уже никем не было сделано серьезных возражений. Все попытки опровергнуть его положение и найти случаи произвольного зарождения тех или иных микроорганизмов оказались тщетными.

Правда, и до настоящего времени в специальной литературе иногда появляются указания на «открытие» самозарождения микробов. Но эти работы носят обычно явно дилетантский характер и не имеют никакого серьезного научного значения. В качестве примера здесь можно привести статью Ф. Эльфвинга [42], которая появилась в 1938 г. в журнале Финского научного общества. В ней автор описывает свои опыты, которыми он старается доказать самозарождение бактерий в убитых нагреванием проростках гороха. Ошибочность применяемой автором методики, не гарантирующей точности проведения задуманных опытов, сразу же бросается в глаза. Поэтому работа не имеет какого-либо научного значения. Но интересно, что Эльфвинг в наши дни старается защищать теорию самозарождения, которое он трактует как результат действия особой «генеративной силы» совершенно в духе Нидгэма.

С современной точки зрения невозможность самозарождения, внезапного возникновения микробов понятна даже без специальных опытов, так как микроорганизмы не являются простыми комочками органического вещества, как это думали до Пастера. Детальное изучение этих простейших живых существ показало, что они обладают весьма тонкой и сложной организацией. В этом отношении строение одноклеточных микроорганизмов немногим отличается от строения отдельных клеток, образующих многоклеточные живые существа. Предположить, что такого рода сложная и при этом строго определенная организация возникает в течение короткого времени, у нас на глазах, из бесструктурных растворов органических веществ совершенно невозможно. Это предположение по существу так же абсурдно, как представление о зарождении «лягушки из майской росы» или «львов из камней пустыни».

Таким образом, после опытов Пастера казалось, что теория самозарождения живых существ похоронена навеки. Но история повторяется, и уже в настоящее время эти представления опять возродились в несколько модернизированном, подновленном виде. Любопытно, что представления о самозарождении живых существ всегда применялись по отношению к таким организмам, которые на данной ступени развития знания являлись еще плохо изученными. Это имело место с различного рода червями и паразитами до опытов Реди, так же обстояло дело и с бактериями до опытов Пастера. То же мы имеем и сейчас, когда сторонники самозарождения обращают свои взоры на сравни-

тельно еще плохо изученные ультрамикробы и фильтрующиеся вирусы. Однако и здесь, чем дальше идет изучение этих объектов, тем все менее становится вероятным их спонтанное возникновение.

В настоящее время известно большое количество весьма тяжелых заболеваний человека, животных и растений, которые хотя и являются заразными, но не могут быть связаны с проникновением в организм тех или иных бактерий или других видимых в микроскоп микробов. Таковыми в частности являются у человека сыпной тиф, оспа, энцефалит, полиомиелит, корь, грипп, бешенство, желтая лихорадка. У животных — коровья оспа, ящур, чума рогатого скота, мышьяная саркома. У растений — разнообразные виды мозаичной болезни, поражающей табак, свеклу, помидоры, картофель и др.

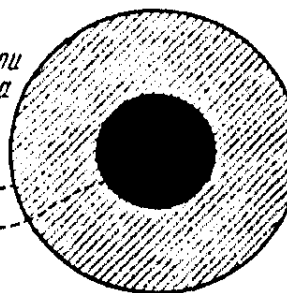












Все попытки обнаружить видимых в микроскоп возбудителей этих болезней оказались бесплодными. Однако как по своей несомненной заразительности, так и по общим симптомам эти заболевания настолько напоминали бактериальные инфекции, что и для них стали допускать живых возбудителей, аналогичных бактериям, но обладающих такими малыми размерами, что они не могут уже быть обнаруженными в видимом свете даже при помощи самых совершенных микроскопов. Это предположение было тем более вероятно, что известен целый ряд микроорганизмов, стоящих на границе видимости в микроскоп. В качестве примера здесь можно назвать *Bac. pneumosintes*, которые были выделены у больных гриппом людей и долгое время считались возбудителями этого заболевания. То же самое можно сказать о возбудителях плевропневмонии рогатого скота, размеры которых настолько малы, что они могут стать видимыми только после специальной окраски. Если величина обычных бактерий лежит в пределах от 500 до 2000 мμ¹, то для названных микроорганизмов она меньше 250 мμ.

Исходя из предположения, что возбудители вышеперечисленных болезней являются мельчайшими живыми организмами, некоторые авторы стали их называть ультрамикробами [43]. Однако более распространенным в литературе является название: «фильтрующиеся вирусы». Фильтрующимися они называются потому, что они проходят более или менее легко через бактериальные фильтры, что тоже указывает на малый размер их частиц.

Впервые идея о существовании фильтрующихся вирусов была выдвинута русским ученым Н. Гамалеем (род. 1859) еще в конце прошлого века. Но особенно детально эти образования стали исследоваться только в последние десятилетия и в особенности в последние годы. Этому весьма способствовало широкое применение для исследования величины вирусных частиц ультрафильтрации вирусов через мембраны, обладающие определенной вели-

¹ 1 мм = 1 000 000 мμ; 1 мμ = 10 Å.

чиной пор, а также их ультрацентрифугирование. Путем применения этих и других методов удалось довольно точно определить величину частиц отдельных вирусов, а в некоторых случаях даже установить и их форму. Ниже мы приводим заимствован-

	Молекулярный вес $\times 10^{-6}$	Диаметр или длина \times ширина в μ	
Красный кровяной шарик*	173 000 000	7 500	
<i>Bacillus prodigiosus</i> *	173 000	150	
Рикетсии (сыпной тиф) *	11 100	300	
Пситтакозис (болезнь попугая) *	8 500	275	
Вакцина (коровья оспа) *	2 300	175	
Миксома (вирусная опухоль) *	2 300		
Чума канареек *	2 300	150	
Плеввропневмония рогатого скота *	1 400		
Ложное бешенство	1 400		
Экстремелция	1 400	125	
Герпес	1 400		
Бешенство	800		
Болезнь Борна	800	120	
Грипп	700		
Везикулярный стоматит	410		
Бактериофаг Стафилококка *	300	90	
Птичья чума	300		
Бактериофаг C_{16}	173		
Опухоль у кур *	142	75	
Табачная мозаика *	43		
Огуречная мозаика 3 и 4 *	43		
Ген *	33	125 \times 20	
Латентная мозаика картофеля *	26		
Папиллома кролика *	25		
Энцефалит лошади	23	38	
Бактериофаг маггериум	23		
Лихорадка долины Рифт	11		
Кустистость томата *	9	28	
Кольцевая пятнистость табака *	7.4		
Молекула гемоцианина *	6.7		
Желтая лихорадка	4.3	22	
Вирусная атакия	2.8		
Молекула гемоцианина (осминог) *	2.8		
Полимиелит	0.7	12	
Бактериофаг стафилококка *	0.4		
Вирус ящура	0.4		
Молекула гемоглобина (лошадь) *	0.069	2.8 \times 0.6	
Молекула яичного альбумина *	0.040		

1/10

этой

вели-

чины

Рис. I.

ную нами из последней работы В. Стэнли [44] таблицу, где даны сравнительные размеры вирусных частиц.

Эта таблица наглядно показывает, что величина частиц различных вирусов может колебаться в широких пределах. Частицы некоторых вирусов настолько велики, что они приближаются по

своим размерам к мельчайшим бактериям, и при известной обработке, — например, при так называемом «сверхокрашивании» по Боррелю, — их можно увидеть в микроскоп. В качестве примера здесь можно назвать вирус вакцины (коровьей оспы), обнаруживаемый в виде так называемых «элементарных телец», диаметр которых равен приблизительно 175 мμ.

На ряду с этим внизу таблицы мы находим вирус ящура, размеры частиц которого меньше частиц высокомолекулярного белка гемоцианина. Диаметр частиц этого вируса равен 10 мμ. Таким образом, мы имеем здесь размер, вполне сопоставляемый с величиной молекул гемоглобина или яичного альбумина. В названных пределах между размерами бактерий и размерами белковой молекулы располагаются величины частиц всех известных нам вирусов.

Невольно создается впечатление, что мы имеем перед собою как бы эволюционную лестницу, ведущую от белковой молекулы к микроорганизмам. С этой точки зрения вирусы, занимающие по своим размерам промежуточное положение, выступают в роли звена, связующего живое и безжизненное. Отсюда один шаг до предположения, что эти «полуживые» образования могут возникать спонтанно, самозарождаться, а от них уже путем эволюции происходят микроорганизмы и более высоко организованные живые существа.

Эта мысль одно время пользовалась, да и сейчас до некоторой степени пользуется значительной популярностью. В специальной литературе по вирулогии мы с ней встречаемся довольно часто. Даже такой осторожный исследователь, как А. Гарднер [43], пишет в своей книжке по этому поводу следующее: «Мало вероятно, чтобы вирусы могли возникать спонтанно, но, быть может, стоит вскользь указать, что Пастер, окончательно разрушивший теорию спонтанного зарождения, не принимал во внимание ультрамикроскопической жизни, — таким образом этот вопрос применительно к вирусам можно еще считать открытым».

Другие авторы высказываются еще более определенно. Так, например, в недавнее время Д. Александер [45] в одной из своих статей развивал мысль, что частица вируса может возникать абиогенетически (самозарождаться) вследствие соединения разрозненных молекул в большие молекулярные комплексы. Однако более детальное знакомство с природой фильтрующихся вирусов делает такого рода предположение весьма неправдоподобным.

Изучение вирусов пошло особенно быстрыми шагами вперед с тех пор, как В. Стэнли в конце 1935 г. удалось выделить вирус табачной мозаики в кристаллическом виде. Этот вирус и целый ряд аналогичных ему, вызывающих разнообразные заболевания у высших растений вирусов, был исследован как самим Стэнли, так и Боуденом, Пири, Выковым, Дорингом, а у нас в СССР Рыжковым [46] и многими другими. Несмотря на сравни-

тельно короткий срок, вокруг этого интереснейшего вопроса создалась громадная литература, и сейчас имеется уже некоторое представление о природе хотя бы наиболее хорошо изученного вируса табачной мозаики.

Выделенный из сока больного растения и очищенный путем осаждения сернокислым аммонием или, еще лучше, путем центрифугирования, вирус табачной мозаики, находясь в водном растворе, представляет собой суспензию однородных, белковых частиц с молекулярным весом, лежащим около 43 000 000, с длиной частицы в 430 мμ и с шириной в 12.3 мμ. Эти палочковидные частицы могут соединяться, слипаться между собой концами, образуя длинные нити, а иной раз даже и целые сетки.

Выделенный Стэнли очищенный вирус был им получен в виде веретенovidных кристаллоидных образований, заостренные кончики которых иногда бывают несколько изогнуты. При исследовании этих образований при помощи X-лучей Выков получил дифракционные решетки, но в дальнейшем было показано, что эти решетки соответствуют правильностям внутри молекулы, а не расположению молекул в кристалле. Поэтому, если говорить о кристаллах, то надо их рассматривать, как кристаллические отдельные молекулы. Ряд авторов, исследовавших этот вопрос, пришел к выводу, что вирус табачной мозаики не образует настоящих кристаллов, так как в описанных выше веретенovidных тельцах составляющие их частицы правильно расположены только в двух измерениях. При стоянии очищенных растворов вируса происходит его распадение на два слоя: верхний более жидкий и нижний более плотный. В этих растворах можно наблюдать двойное лучепреломление, что указывает на присутствие в них жидких кристаллов.

Тщательное химическое исследование очищенного вируса табачной мозаики и других, полученных в настоящее время препаратов различных вирусов показало, что они в основном являются нуклеопротеидами, т. е. соединениями белка с нуклеиновой кислотой. В вирусе табачной мозаики соотношения между содержанием белка и нуклеиновой кислоты остается довольно постоянным для препаратов, полученных в разное время и разными методами. Белок по своим свойствам приближается к глобулинам, а нуклеиновая кислота сходна с так называемой дрожжевой нуклеиновой кислотой; т. е. с той кислотой, которую мы находим не в ядрах клеток, а в протоплазме. В качестве углевода в нее входит пентоза, а не дезокси-пентоза, как это имеет место у так называемой тимонуклеиновой кислоты клеточных ядер. В других исследованных вирусах соотношение между белком и нуклеиновой кислотой оказалось несколько иное, чем в вирусе табачной мозаики, но все же по составу все эти образования довольно близки между собой. Только в элементарных тельцах вакцины и вируса куриного рака мы на ряду с нуклео-

протеидами находим еще и значительное количество липоидов. В недавнее время из этих телец даже удалось выделить липопротеид, — соединение белков с липоидами.

Таким образом, частицы вирусов, и в частности вируса табачной мозаики, с химической точки зрения представляют собой не что иное, как гигантские молекулы белка (нуклео-протеида). Хотя они по своим размерам в несколько раз превышают молекулу гемоглобина, но это не имеет принципиального значения, так как уже в настоящее время нам известны такие вирусы, которые по размерам своих частиц очень близки к молекуле названного белка (например, вирус томата, табачной кольцевой мозаики и т. д.) или даже значительно меньше ее (вирус ящура, полиомиелита и т. д.). С другой стороны, в самое последнее время Г. Лорингу, В. Прайсу, Р. Выкову [47] и другим удалось выделить весьма высокомолекулярные белки из нормальных непораженных вирусом растений (из огурца и ряда других овощей). Хотя частицы этих «нормальных» высокомолекулярных белков несколько меньше частиц вируса табачной мозаики, но они уже приближаются к размерам этих последних. Указанные высокомолекулярные белки являются довольно нестойкими, они легко распадаются на свои составные части, размер и природу которых удалось в настоящее время определить. Такую же неустойчивость проявляют и некоторые вирусные белки. Исключение представляет собой вирус табачной мозаики, который сохраняет размеры своих частиц и свою активность при ряде химических манипуляций, что, конечно, сильно облегчает его исследование.

Изложенное и целый ряд других, добытых за последнее время фактов убеждают нас в том, что вирус табачной мозаики и ему подобные вирусы являются не чем иным, как белковыми веществами. Но от всех других веществ они коренным образом отличаются тем, что, будучи внесенными в здоровую ткань соответствующего растения, они начинают бурно размножаться. При заражении мозаичной болезнью табака в нем очень быстро идет процесс накопления вирусного белка. За четыре дня, следующих за заражением, количество этого белка возрастает в миллион раз по сравнению с количеством внесенного вируса. При этом в растении образуется именно тот высокомолекулярный вирусный белок, который был внесен при заражении. Ничтожно малое количество этого вновь образовавшегося белка вызывает строго постоянное поражение нового растения. Образовавшийся белок в точности повторяет физические, химические и серологические свойства исходного белка, послужившего для заражения. Только в некоторых сравнительно редких случаях удается наблюдать изменения вируса (его мутацию), но тогда эта мутация сохраняется при следующих заражениях в дальнейших поколениях данной расы или данного штамма вируса. Несмотря на многочисленные попытки, никогда не удавалось

обнаружить возникновения вируса de novo. Он всегда получается только при заражении соответствующим вирусом.

Описанная способность к самовоспроизведению является настолько характерным для живых существ свойством, что многие исследователи даже и сейчас, после блестящих работ с вирусом табачной мозаики, отказываются видеть в этом вирусе просто белковое вещество. Высказывается даже предположение, что белковые частицы вируса являются лишь носителями, на которых сидят мельчайшие живые существа, ускользающие от нашего наблюдения. Однако это предположение опровергается всей совокупностью фактов, которыми мы в настоящее время располагаем. Уже не говоря о том, что трудно себе представить микроорганизм, который бы умещался на частице размером в белковую молекулу, все исследования вирусов в ультрафиолетовом свете, рентгеном и даже за последнее время в электронном микроскопе, ни в малейшей степени не подтверждают этой гипотезы. Напротив, все факты говорят за то, что именно сам вирусный белок является причиной заразы. Эта способность вируса идет всегда строго параллельно с количеством описанного нами выше нуклеопротеида как при многократных перекристаллизациях этого последнего, так и при получении его самыми разнообразными методами.

Нужно, однако, в особенности подчеркнуть тот факт, что вирусный белок табачной мозаики или других аналогичных заболеваний способен к самовоспроизведению только при внесении его в живые ткани. Все многочисленные попытки размножить вирус в разнообразнейших искусственных средах потерпели полное фиаско. Даже свежеприготовленная каша из растертых листьев табака или другого соответствующего растения оказалась непригодной для этой цели. Объяснение этого факта, по мнению Стэнли, нужно искать в том, что вирус табачной мозаики совершенно не способен к самостоятельному обмену веществ.

«Подобное образование — пишет Стэнли — остается инертным и безжизненным во всех условиях, за исключением того случая, когда оно попадает в известный тип протоплазмы». Новообразование вирусного белка может идти лишь на основе того обмена веществ, который происходит в живой клетке, и той энергии, которая при этом возникает. Вирус сам по себе не вызывает каких-либо биохимических реакций, а придает только определенное направление тем реакциям, которые и без него протекают в живой клетке.

Стоит только нарушить происходящий в клетке обмен веществ (например, путем механического разрушения клетки), и образование вируса сейчас же прекращается.

Совершенно ясно, что спонтанное возникновение такого образования вне живой клетки представляется крайне маловероятным, и, действительно, фактически оно никогда не наблю-

далось, несмотря на многочисленные опыты в этом направлении.

В настоящее время существует ряд гипотез по вопросу о происхождении вирусных белков. Многие авторы высказывают предположение, что вирусы являются результатом крайней деградации бактерий вследствие приспособления их к паразитическому образу жизни. В. Рыжков в качестве примера первой ступени этой деградации приводит исследованные Пири мельчайшие бактерии, которые стоят на грани видимости и способны к дыханию только в присутствии каталазы в окружающей среде, так как сами по себе они не содержат этого фермента. Следующей ступенью являются элементарные тельца, вызывающие оспу и другие вирусные болезни животных, уже утратившие собственную ферментную систему и поэтому размножающиеся только внутри живого организма, но содержащие в своем составе не только белок, а и липоидные вещества. На последней ступени деградации стоят вирусы, подобные вирусу табачной мозаики, полностью утратившие способность к самостоятельному обмену веществ и представленные только частицей нуклеопротеида.

Другие авторы придерживаются того мнения, что вирусные белки, точно так же, как и высокомолекулярные белки здоровых растений, являются продуктом распада, дезинтеграции самой протоплазмы высшего растения. Но в этом случае, хотя и редко, все же удавалось бы наблюдать возникновение вирусов без заражения, а этого никогда не происходит.

Таким образом, согласно и той и другой гипотезе, вирусы представляют собой продукт регресса. Это — часть, кусок той организации вещества, которая уже существовала в живой клетке. Изучение вирусов представляет громадный интерес в деле познания организации живого вещества, а следовательно, и для установления тех этапов, через которые проходила эволюция этой организации в процессе возникновения жизни. Поэтому мы так подробно остановились на вопросе о природе и свойствах фильтрующихся вирусов. К этому вопросу мы еще вернемся в дальнейшем. Но здесь необходимо подчеркнуть, что указанное значение этих образований ни в коем случае нельзя смешивать с вопросом об их спонтанном возникновении. Несмотря на многочисленные, весьма тщательные и проведенные на уровне современной техники опыты, никому не удалось установить даже и намека на самозарождение вирусов. Они всегда возникают только при соответствующем заражении.

Подводя итоги всему сказанному в этой главе, мы должны прийти к заключению, что теории самозарождения в том виде, как они излагались здесь нами, при строгой научной проверке всегда терпели фиаско. Чем дальше шло углубленное изучение окружающей нас природы, тем все менее вероятным делалось

предположение о спонтанном возникновении живых существ. В настоящее время мы совсем должны отбросить эти теории и принуждены искать иного объяснения возникновения жизни на Земле.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Lippmann. *Urzeugung und Lebenskraft*, Berlin, 1933.
2. Rodemer. *Lehre von der Urzeugung bei den Griechen und Römern*, 1928.
3. А. Маковельский. *Досократики*. 1914.
4. П. Таннери. *Первые шаги древнегреческой науки*. СПб., 1902.
5. Т. Гомперц. *Греческие мыслители*, т. I. СПб., 1911.
6. Там же.
7. А. Деборин. *Книга для чтения по истории философии*, т. I, Москва, 1924.
8. E. Zeller. *Die Philosophie der Griechen*. Leipzig, 1923.
9. Цит. по E. Lippmann. *Urzeugung und Lebenskraft*, S. 10.
10. E. Zeller. *Die Philosophie der Griechen*. Leipzig, 1923.
11. Цит. по Марксу и Энгельсу. *Соч.*, т. XV, стр. 520.
12. Цит. по В. Ленину. *Философские тетради*, стр. 318, 1936.
13. Демокрит. *Фрагменты* (пер. А. Маковельского). 1929.
14. H. Meyer. *Geschichte der Lehre von den Keimkräften*. Bonn, 1914 (цит. по E. Lippmann, 23).
15. Цит. по E. Lippmann, 39.
16. Tschirsch. *Handbuch der Pharmakognosie*, Leipzig, 1909.
17. E. Darmstaedter., *Acta Paracelsica*. München, 1931 (цит. по Lippmann).
18. W. Bulloch. *History of bacteriology*, London, 1938.
19. Т. Мейер-Штейнер и К. Зудгоф. *История медицины*, 1925.
20. R. Descartes. *Oeuvres philosophiques*, ed. Aime et Martin. Paris, 1838.
21. По W. Bulloch (см. сноску 18).
22. По E. Lippmann, 66.
23. I. Lamarck. *Philosophie zoologique*; из Ch. Martin, 1873.
24. A. Leuwenhoeck. *Arcana naturae detecta* (цит. по В. Омелянскому. *Основы микробиологии*, 1922).
25. L. Joblot. *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes*, Paris, 1718 (цит. по W. Bulloch, 70).
26. Feuerbach, «Leibniz» ed. Bolin und Iodl. Stuttgart, 1906.
27. E. Nordenskiöld. *Die Geschichte der Biologie*. Iena, 1926.
28. T. Needham. *Philos. Trans.*, N 490, 1749; *Idée sommaire en vue generale du systeme physique et metaphysique de M. Needham*. Bruxelles, 1776 (цит. по W. Bulloch, 74).
29. L. Spallanzani. *Saggio di osservazioni microscopiche concernenti il systema della generazione dei sig. di Needham e Buffon*. Modena, 1765 (цит. по W. Bulloch, 75).
30. М. Тереховский. *Dissertatio*. Anno 1775. Argentorati.
31. I. Kant. *Kritik der Urteilstkraft*. 1790 (рус. пер. Соколова СПб, 1898).
32. Г. Гегель. *Энциклопедия философских наук* (изд. Инст. Маркса и Энгельса). Москва, 1929.
33. F. Schelling. *Zeitschrift für spekulative Physik*. Iena, 1800—1802.
34. L. Oken. *Lehrbuch der Naturphilosophie*. Zürich, 1843.
35. L. Gay-Lussac. *Ann. Chimie*. 76, 245, 1810.
36. T. Schwann. *Ann. physik. Chemie*, 41, 184, 1837.
37. Fr. Schulze. *Ann. physik. Chemie*, 39, 487, 1836.
38. H. Schröder u. Th. von Dusch, *Ann. chem. Pharmacie*, 89, 232, 1854.
39. F. Pouchet. *C. R.*, 47, 979, 1858; 48, 148, 546, 1859; 57, 765, 1863; *Heterogenie ou traité de la génération spontanée, basé sur de nouvelles experiences*. Paris, 1859.

40. L. P a s t e u r. C. R. 50, 303, 675, 849; 51, 348, 1860; 56, 734, 1863; Ann. Sci. nat., 16, 5, 1861; Ann. de chim. et de phys., 3, 64, 5, 1862; Etudes sur la bière. Paris, 1876.
41. H. B a s t i a n. The beginnings of life. London, 1872.
42. T. E l f v i n g. Soc. Scient. Fennica. Commentationes Biologicae т. VII, № 4, 1. 1938.
43. А. Г а р д н е р. Микробы и ультрамикробы. Биомедгиз, 1935.
44. W. M. S t a n l e y a. H. L o r i n g. Properties of purified viruses. Relazioni del IV Congresso internazionale di patologia comparata. Roma 15—20 Maggio, 1939.
45. I. A l e x a n d e r a. C. B r i d g e s. Science, 70, 508. 1929; I. A l e x a n d e r, I. Heredity, 28, 38, 1937.
46. См. сводные статьи В. Р ы ж к о в. Успехи современной биологии, 9, 351. 1938; R. W y s k o f f. Erg. Enzymforsch. 8, 1. 1939.
47. W. P r i c e a. R. W y s k o f f. Nature, 141, 685, 1938; Phytopatology, 1939.

ГЛАВА II

ТЕОРИИ ВЕЧНОСТИ ЖИЗНИ

Как мы видели в первой главе, элементы концепции о вечности жизни встречаются уже у самых истоков европейской философии, — у милетцев. Согласно учению этих философов, весь мир изначально являлся живым. Жизнь принималась ими за неотъемлемое первоначальное свойство всякой материи. Дальнейшее развитие принцип вечности жизни получил в учении о «панспермии» Анаксагора. По учению этого философа, рассеянные повсюду оплодотворяющие косную материю «эфирные зародыши», — «спермата» получают свою жизнь извне, от небесного огня. Таким образом, в учении Анаксагора принцип вечности жизни до известной степени уже приобретает идеалистическую окраску.

Вся последующая история вопроса о вечности жизни протекает на основе идеалистического принципа, согласно которому «вечный живой дух» противопоставляется мертвой косной материи. Это положение мы находим и у «отцов христианской церкви», и у средневековых ученых, и у ряда натурфилософов нового времени и у современных виталистов. Весьма интересно то, что до середины XIX в. концепция вечности жизни все время теснейшим образом переплетается с учением о произвольном зарождении. Это последнее явление трактуется только как оживление материи. Сама же жизнь, «жизненный принцип», «дух жизни» и т. д. никогда не возникает, он вечен и может лишь передаваться от одного живого существа другому (при рождении от себе подобных) или проникать в материю извне (при самозарождении живых существ).

В большинстве случаев это оплодотворяющее и одухотворяющее материю начало мыслится в виде рассеянных повсюду невидимых духовных зародышей жизни. Так, например, по «блаженному» Августину, Земля наполнена скрытыми зародышевыми силами (*occulta semina*), невидимыми таинственными семенами духовного начала, которые при благоприятных условиях, согласно повелению божию, делаются активными и из воды и воздуха производят лягушек и птиц, а из земли — растения и животных.

Такой же характер носят и зарождающие «души роста»

«*anima vegetativa*» позднейших схоластиков, «архей» Парацельса и ван-Гельмонта, «дух жизни» ряда других авторов и т. д. Афанасиус Кирхер (1602—1680) уже в XVII в. развивает свою теорию «панспермии», согласно которой зародыши жизни рассеяны в хаосе и во всех элементах. Благодаря их действию и возникают животные и растения.

Тот же принцип лежит и в основе учения Лейбница о вечно существующих, всюду рассеянных зародышах жизни, из которых путем последовательного развития образуются все живые существа. По Нидгэму, оживляющее начало, «жизненная сила» присуща каждой молекуле органического вещества, и только благодаря формирующему действию этой силы и может происходить зарождение микроорганизмов из неорганизованной материи. Аналогичные взгляды развивал и Пуше, считавший самозарождение возможным только в результате предсуществования «жизненной силы».

Во второй половине XIX в. представления о вечности жизни приобрели несколько иной характер и, по крайней мере, формально стали противопоставляться теории спонтанного зарождения живых существ. Основанием к этому послужили опыты Пастера, которые с несомненностью показали невозможность самозарождения микроорганизмов в стерильных органических растворах и настоях. Эти опыты настолько поразили умы современников, что многими стали трактоваться как доказательство абсолютной невозможности перехода от мертвой природы к живым организмам. Так, например, знаменитый английский физик В. Томсон (лорд Кельвин) [1] (1871) весьма ярко выразил эту мысль, указывая, что после опытов Пастера невозможность самозарождения жизни когда-либо и где-либо нужно считать так же прочно установленной, как закон всемирного тяготения. Точно так же немецкий физиолог Г. Гельмгольц (1821—1894) [2] писал по этому поводу следующее: «мне кажется, что если все наши попытки создать организмы из безжизненного вещества терпят неудачу, то является вполне научным способом рассуждения задать себе вопрос: да возникла ли вообще когда-нибудь жизнь, не так ли она стара, как и материя». Подобного же рода рассуждения мы находим и у ряда других ученых, которые, исходя из эмпирически установленного факта невозможности спонтанного зарождения, декларировали принцип вечности жизни, оставаясь (как это им казалось) на базе материалистических представлений.

В наши дни аналогичные представления были развиты академиком В. Вернадским (род. 1863) [3], который считает, что идеи о «логически неизбежном существовании начала жизни» «вошли в науку из религиозно-философских исканий» и являются «чуждыми эмпирической основе науки». «Все нам известные точно установленные факты — пишет В. Вернадский — ни в чем не изменятся, если даже все эти проблемы получают отрицательное решение, т. е., если бы мы признали, что жизнь всегда

была и не имела начала, что живое — живой организм — никогда и нигде не происходил из косной материи, и что в истории Земли не было вообще геологических эпох, лишенных жизни».

Коренное непреодолимое материально-энергетическое отличие живых тел от косной материи Вернадский [4] видит в том, что первым присуще особое состояние пространства. Он указывает, что еще Пастер признавал возможность разного состояния космического пространства и этим объяснял проявление в живом веществе асимметрии, или «правизны и левизны», по терминологии Вернадского. Это состояние пространства, занятого тем или иным живым организмом, характеризуется, по Вернадскому, следующим образом: правые и левые формы одного и того же химического соединения оказываются химически идентичными в косных телах и различными в живых. Вследствие этого в продуктах, образующихся в результате биохимических процессов, это химическое неравенство резко проявляется, — преобладают правые или левые изомеры. Далее Вернадский развивает ту мысль, что такое состояние пространства, занятого телом живого организма, создается в биосфере только от заранее существующих живых естественных тел, т. е. путем рождения. Поэтому и не удастся воспроизвести синтез живого, так как в лабораторных условиях для этого отсутствует необходимое условие — особое состояние пространства, асимметрия.

Вопрос о «правизне и левизне» живого вещества заслуживает самого серьезного рассмотрения, и мы к нему еще вернемся в дальнейшем, но уже и здесь нужно отметить, что в настоящее время в научной литературе имеется целый ряд факторов, указывающих на возможность возникновения асимметрии вещества и вне зависимости от органической жизни.

Ф. Энгельс (1820—1895) [5] еще в конце прошлого века подверг детальному рассмотрению самый принцип вечности жизни и убедительно показал его полную несовместимость с диалектическим материализмом. Он приводит весьма характерную цитату, слова, сказанные Либихом М. Вагнеру в 1868 г.: «Достаточно лишь допустить, что жизнь так же стара, так же вечна, как сама материя, и весь спор о происхождении жизни теряет, повидимому, свой смысл при этом простом допущении. Действительно, почему нельзя представить себе, что органическая жизнь так же изначальна, как углерод и его *соединения* (!) или, вообще, как вся несоздаваемая и неуничтожаемая материя и как силы, которые вечно связаны с движением вещества в мировом пространстве».¹ Энгельс показывает, что такого рода взгляд может быть основан только на признании особой жизненной силы как формообразующего принципа и что он совершенно не соответствует материалистическому мировоззрению. Далее в приводимых ком-

¹ Ф. Энгельс. Диалектика природы, стр. 25, Партиздат, 1933 (курсив Энгельса).

ментариях Энгельс устанавливает, что «утверждение Либиха, будто бы углеродные соединения столь же вечны, как и сам углерод, неточно, если не просто ошибочно». ¹ «Соединения углерода, — пишет Энгельс, — вечны в том смысле, что при равных условиях смещения, температуры, давления, электрического напряжения и т. д. они постоянно повторяются. Но до сих пор никому еще не приходило в голову утверждать, что — беря, например, хотя бы только простейшие углеродные соединения CO_2 или CH_4 — они вечны в том смысле, будто они существуют во все времена и более или менее повсеместно, а не возникают постоянно из элементов и не разлагаются постоянно снова на те же элементы. Если живой белок вечен в том смысле, в каком вечны остальные углеродные соединения, то он не только должен постоянно разлагаться на свои элементы, как это происходит фактически, но должен также постоянно возникать наново из этих элементов, без содействия имеющегося уже заранее белка, а это диаметрально противоположно результату, к которому приходит Либих». ²

Но то же самое, только еще в большей мере, справедливо и по отношению к живым организмам. То представление, что жизнь, живые существа при определенных условиях всегда возникают, появляются, еще не имеет ничего общего с понятием о «вечности жизни», — напротив, оно приводит к признанию обязательности зарождения организмов из неживой материи. В противоположность этому сторонники вечности жизни считают, что во все времена, вечно существовало некое начало, которое преемственно передается от организма к организму и без которого возникновение живых существ невозможно. «Жизнь — писал в свое время Ф. Кон (1828—1898) — подобна священному огню Весты, который только потому поддерживался постоянно, что новое пламя зажигалось от старого». Но что же это за особое присущее только живым организмам начало, какова его природа? Оно не может быть извечным свойством материи, как это думали древние греки, так как тогда для оживления материи не требовалось бы обязательного присутствия уже существующего живого организма, и жизнь зарождалась бы произвольно. Оно не может быть и новым качеством, возникающим в процессе исторического развития материи, так как тогда оно не было бы вечным. Следовательно, природа этого начала не материальна, и таким образом, идя по пути развития и углубления принципа вечности жизни, мы — хотим или не хотим этого — обязательно попадаем в плен идеалистических представлений.

Однако недостаточно одного только провозглашения принципа вечности жизни. Нужно еще объяснить, как с точки зрения этого принципа появилась наша земная жизнь. Ведь сама

¹ Ф. Энгельс. Диалектика природы, стр. 27, Партиздат, 1933.

² Там же, стр. 28.

наша планета не вечна, — она когда-то возникла, отделилась от Солнца и в первые периоды своего существования вряд ли была заселена организмами уже по чисто температурным условиям. Для того, чтобы обойти это затруднение, было выдвинуто предположение, согласно которому зародыши жизни попали к нам на Землю извне, из межпланетного, межзвездного пространства, точно так же, как в опытах Пастера они попадали в его колбы из воздуха. Указанное представление было впервые разработано еще в 1865 г. Г. Рихтером [6]. Рихтер исходил из того предположения, что при быстром движении мировых тел от них могут отделяться или отрываться маленькие кусочки или твердые частицы. Одновременно с этими твердыми частицами например, прилепившись к ним, от мировых тел могут отделяться и жизнеспособные зародыши микроорганизмов. В дальнейшем эти частицы носятся в межзвездном пространстве и могут быть случайно занесены на другие небесные тела. Когда эти зародыши попадают на планету, на которой создались уже благоприятные жизненные условия (умеренная температура, влажность и т. п.), они начинают развиваться и впоследствии являются родоначальниками всего органического мира данного небесного тела. Рихтер предполагал, что где-нибудь в мировом пространстве всегда находятся небесные тела, на которых существует жизнь в форме клеток. Ту же идею позднее развивал и Ю. Либих [7], который считал, что «атмосферы небесных тел, а также вращающихся космических туманностей можно рассматривать как вековые хранилища оживленной формы, как вечные плантации органических зародышей». Таким образом, существование в мире живых организмов является вечным, органическая жизнь никогда не возникала, а всегда только переносилась с одной планеты на другую. Следовательно, по мнению Рихтера, вопрос заключается не в том, как произошла жизнь, а в том, каким образом зародыши жизни могут переноситься с одного небесного тела на другое.

Особое внимание Рихтер уделил вопросу о возможности переноса жизнеспособных зародышей через мировые пространства, отделяющие одно небесное тело от другого. Он указывал, что органические зародыши могут очень долгое время существовать без воды и пищи, оставаясь в некотором безжизненном состоянии, а затем снова пробуждаться к новой жизни, как только обнаружатся необходимые для этого условия. В силу этого органические зародыши могут переносить весьма длительное путешествие без воды и пищи.

Некоторую опасность для жизни зародышей представляет только повышение температуры, которое происходит вследствие колоссального трения падающего тела о земную атмосферу. Но, указывает Рихтер, некоторые метеориты содержат в себе следы угля и других легко воспламеняющихся веществ. Если эти вещества могли, не сгорая, достигнуть Земли, то

вполне возможно, что и зародыши могли пролететь через атмосферу, не теряя своей жизнеспособности.

Несколько лет спустя аналогичное представление было развито Г. Гельмгольцем [8]. «Органическая жизнь, — писал этот знаменитый немецкий физиолог, — или когда-нибудь началась, или существует вечно». Сам Гельмгольц присоединялся ко второй части этой альтернативы и считал, что живые зародыши занесены на Землю при помощи метеоритов. Эту возможность он основывал на том, что метеориты, проходя через земную атмосферу, сильно раскаляются лишь с поверхности, а внутри остаются холодными. «Кто может сказать, — писал далее Гельмгольц, — что подобные тела, носящиеся повсюду в мировом пространстве, не оставляют всегда зародышей жизни там, где новое мировое тело уже сделалось способным воспринимать органические творения!».

Однако очень скоро пришлось отказаться от мысли, что зародыши жизни могут быть занесены на Землю внутри метеоритов. Несмотря на все самые тщательные поиски, в метеоритах не только никогда не удавалось обнаружить живых существ,¹ но в них не найдено даже и следов осадочных или биогенных пород. Если бы там развивалась когда-либо и какая-либо жизнь, она обязательно бы оставила след в виде этих пород. «Зародыши жизни, микроризы — пишет В. Вернадский [10] — не могут быть генетически связаны с метеоритами или известной нам космической пылью. Ибо в пыли и метеоритах мы никогда и нигде не видим в их структуре проявления и влияния жизни. Изучение их указывает на условия их образования, аналогичные нашим самым глубинным породам (высокое давление, высокая температура), или на выделение их при химических процессах из жидкостей и газов, связанных тоже с высокой температурой (хондры, молдавиты). Микроризы могут быть к ним примешаны случайно, с ними прямо не связаны, от них не зависимы». Таким образом, зародыши жизни могли быть лишь захвачены из космического пространства метеоритами, но в этом случае они должны были находиться на поверхности метеоритов и, следовательно, обязательно погибнуть, сгореть при прохождении через земную атмосферу.

На смену метеоритной теории заноса жизни в начале XX в. была выдвинута так называемая теория панспермии. Творцом этой теории был известный шведский физико-химик С. Аррениус (1859—1927) [11]. Являясь горячим сторонником представлений, согласно которым жизнь рассеяна повсюду в мировом пространстве, он весьма убедительно путем прямых вычислений доказывал возможность переноса частичек вещества от одного

¹ Промелькнувшее несколько лет тому назад указание на то, что Ч. Липману [9] удалось выделить из метеоритов живые бактерии, не нашло своего подтверждения, и сам автор отрицает возможность заноса живых существ внутри метеоритов.

небесного тела на другое. При этом, по его мнению, главной действующей силой здесь является давление световых лучей, теоретически обоснованное Максвеллом (1831—1879) и блестяще доказанное на опыте П. Лебедевым (1866—1912).

Аррениус рисует нам следующую картину такого переноса мельчайших частиц, в том числе и спор микроорганизмов, через межпланетное и межзвездное пространство. Направленные вверх воздушные течения, которые бывают особенно сильны при больших вулканических извержениях, могут занести мельчайшие частицы вещества на огромную высоту — до 100 и более километров над поверхностью Земли. В верхних слоях атмосферы в результате действия ряда причин постоянно происходят электрические разряды, которые более чем достаточны для того, чтобы выбросить эти частички вещества из земной атмосферы в межпланетное пространство. Здесь частицы будут уноситься все далее и далее под влиянием одностороннего светового давления солнечных лучей. И действительно, при известных условиях удастся для нашей планеты установить нечто вроде хвоста комет, только в несравненно меньшем масштабе (явление противостояния). Этот хвост образуется мельчайшими частичками вещества, постоянно покидающими Землю и подвергающимися отталкивательному действию солнечных лучей. Аналогичные явления, по мнению Аррениуса, присущи и другим планетам.

Таким образом, как с поверхности Земли, так и с поверхности других небесных тел должны все время отделяться мельчайшие частички вещества. Если планета заселена живыми организмами, в частности — микроорганизмами, то споры этих последних должны также описанным способом уноситься в межзвездное пространство. Аррениус вычислил, что споры бактерий с поперечником 0.0002—0.00015 мм под влиянием давления солнечного света двигаются в безвоздушном пространстве с очень большой скоростью. Отделившись от Земли, такая спора через 14 месяцев покинет пределы нашей планетной системы, а через 9000 лет она достигнет ближайшей звезды, — α Центавра.

Но передвижение спор микроорганизмов возможно не только в направлении от Солнца, но и обратно к Солнцу. Занесенные в межзвездное пространство зародыши жизни могут встречаться с частицами космической пыли, обладающими сравнительно большими размерами. Если спора пристанет к частице, поперечник которой превышает 0.0015 мм, то она начнет двигаться уже по направлению к Солнцу, так как давление света не будет в состоянии преодолеть тяжести указанной частицы, и последняя будет приближаться к нашему светилу вследствие его притяжения. Описанным путем, по мнению Аррениуса, Земля могла быть засеяна спорами микроорганизмов, прилетевшими в нашу солнечную систему из других звездных миров. По-

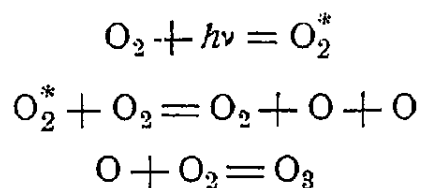
нятно, что это могло произойти только в том случае, если споры остались после своего длительного путешествия во вполне жизнеспособном состоянии.

На эту сторону дела Аррениус и другие сторонники разбираемой теории по вполне понятным причинам обращали сугубое внимание. Аррениус подробно разбирает все те опасности, которые подстерегают зародыши жизни на их пути от одной планеты к другой. Отсутствие влаги, кислорода и страшный холод межпланетного пространства, по мнению цитируемого ученого, не страшны спорам микроорганизмов. То же относится и к разогреванию быстро падающих через земную атмосферу частиц. По вычислениям Аррениуса в ряде случаев это нагревание может не превышать 100° и длится сравнительно короткое время, а как известно, споры бактерий и после такого нагревания могут нередко оставаться жизнеспособными. На основании всех этих соображений Аррениус считает допустимым, с некоторой долей вероятия, признать возможность переноса жизнеспособных зародышей из одной планетной системы на другую и таким образом объяснить появление жизни на Земле. Эта теория нашла многочисленных сторонников, в частности в СССР ее поддерживали С. Костычев [12] и А. Немилов [13].

В недавнее время эта теория как будто получила известное подтверждение в тех наблюдениях, которые были произведены северными экспедициями. На крайнем севере в почве и на снегу были обнаружены споры термофильных бактерий. Так как эти бактерии способны развиваться лишь при сравнительно высоких температурах, совершенно отсутствующих в тех широтах, где они были найдены, то естественно возникло предположение, что споры занесены откуда-то извне. В виду того, что наряду со спорами в некоторых случаях на снегу удается обнаружить и космическую пыль, стали думать, что и найденные споры тоже залетели к нам из межпланетных пространств. Однако исследование этих бактерий показало, что они и по своему строению, и по физиологическим и биохимическим свойствам ничем не отличаются от подобных же, довольно обычных, бактерий, которые можно найти в любом другом месте. Но нет никакого сомнения, что наши земные, современные нам бактерии являются продуктом длительной эволюции. И если бы они развивались в иной период времени и при других внешних условиях, то они обладали бы иным характерным для них обменом веществ. Не так давно В. Таусон [14] на основании весьма интересных данных убедительно показал, что, например, бактерии, жившие в каменноугольный период, должны были быть наделены несколько другим обменом веществ, чем современные нам бактерии. Крайне трудно предположить, чтобы из межпланетных и межзвездных пространств, с других небесных миров к нам залетели такие же точно живые существа, какие развиваются и на нашей планете. Гораздо естественнее думать,

что споры термофильных бактерий были занесены на крайний север с поверхности Земли и что они не выходили за пределы нашей атмосферы. Это последнее предположение тем более вероятно, что за пределами атмосферы они, безусловно, должны были бы погибнуть в результате воздействия на них коротковолновой ультрафиолетовой радиации.

Исследования спектра солнечного света показывают, что до земной поверхности доходят ультрафиолетовые лучи с длиной волны не менее чем в 3000 Å. Лишь при подъеме на большие высоты удается устанавливать наличие ультрафиолетовых волн с длиной 2900 Å. Вся более коротковолновая радиация поглощается земной атмосферой и не доходит до поверхности нашей планеты. Но за пределами атмосферы находится свет, длина волны которого равняется 1000—2000 Å. Эти лучи обладают исключительно сильным химическим действием. В частности, достигая поверхности газовой оболочки нашей планеты, лучи с длиной волн в 2000 Å и ниже поглощаются молекулами кислорода и активируют эти последние, в результате чего происходит реакция, приводящая к образованию озона, согласно уравнению [15]



Наличие озонового слоя в нашей стратосфере на высоте около 30 км над поверхностью земли, с несомненностью, доказывается при помощи спектроскопических наблюдений. Но в нижних слоях атмосферы этот газ не образуется указанным выше путем, так как сюда не достигают лучи с той длиной волн, которая необходима для этой реакции (ниже 2000 Å).

Уже сравнительно давно (1877) было замечено, что солнечный свет обладает значительным бактериоцидным действием. Позднее удалось установить, что губительными для бактерий являются главным образом лучи ультрафиолетового света с длиной волн не более 3100 Å. В виду большого значения, которое это наблюдение имело для медицины, оно подверглось детальному изучению сперва в Финзеневском институте в Копенгагене, а затем и в ряде других научно-исследовательских институтов. Все эти исследования согласно показывают, что бактериоцидное действие ультрафиолетовых лучей растет с уменьшением длины волн. Оно достигает своего максимума около 2700—2800 Å, затем несколько падает в пределах от 2600 до 2400 Å и потом вновь начинает сильно возрастать при переходе к еще более коротковолновой радиации [16].

В указанных пределах длин волн при достаточной интенсив-

ности ультрафиолетового света погибали не только сами подвергавшиеся исследованию микроорганизмы, но и их споры. В частности, в недавнее время соответствующие опыты были произведены Э. Рохлиной [17] над многочисленными видами микроорганизмов и спорами этих последних. Опыты показали, что все они гибнут в течение 30 секунд, а иногда даже быстрее. Таким образом, прежние данные Р. Визнера [18] о том, что существуют устойчивые к свету виды бактерий, не нашли своего подтверждения в опытах последующих ученых.

Напротив, согласно исследованиям А. Ларсена [19], П. Потгофа [20] и других видовые различия сказываются лишь в очень малой степени на устойчивости бактерий. Этим световое воздействие коренным образом отличается от температурного, так как мы знаем ряд весьма термоустойчивых бактерий. В особенности ярко это отличие сказывается в отношении спор. Так, например, споры *B. anthracis* и *B. subtilis*, как известно, весьма устойчивы к высоким температурам и даже могут выдерживать более или менее длительное кипячение в противоположность вегетативным формам этих бактерий. Напротив, при воздействии ультрафиолетового света споры указанных микроорганизмов гибнут почти так же легко, как и их вегетативные формы.

Различие между температурным и световым воздействием сказывается также и в том, что для последнего не требуется наличия воды. Совершенно высушенные культуры и споры бактерий убиваются ультрафиолетовым светом так же легко, как и во влажном состоянии. Кислород также не является необходимым для бактериоцидного действия света. Прежние взгляды, согласно которым эффект ультрафиолета сводится к окислительному действию, оказались неверными. Би [21], Анри [22], Тили и Вольф [23] и ряд других авторов экспериментально установили, что ни кислород, ни образующаяся в водной среде перекись водорода не имеют значения в процессе убивания бактерий коротковолновой радиацией. Ультрафиолетовые лучи действуют непосредственно на самые бактерии, а не через образование каких-либо ядовитых веществ в окружающей среде.

Температурные условия также не играют решающей роли в разбираемом нами процессе. Ф. Гэтес [24] установил, что температурный коэффициент здесь не превышает 1.06, как это и нужно было ожидать для фотохимической реакции. По П. Беккерелю [25] температура жидкого воздуха несколько снижает бактериоцидное действие ультрафиолетового света. Так, испытанные им споры при комнатной температуре гибли через 2—3 минуты, тогда как в вакууме и при температуре жидкого воздуха их гарантированно можно было убить только через 6 часов. Однако позднейшие исследования Л. Хилла и А. Эйдинова [26] установили, что как весьма высокие, так и весьма низкие температуры понижают сопротивляемость бактерий

к ультрафиолетовым лучам и не только не замедляют, но даже ускоряют гибель микроорганизмов.

Бактериоцидное действие коротковолновых ультрафиолетовых лучей объясняется их исключительно сильным химическим действием. Энергия этих лучей настолько велика, что они в состоянии видоизменить или даже разрушить любую абсорбирующую их органическую молекулу. Они полимеризуют ацетилен, антрацен и ряд других углеводородов, разлагают ацетон, разнообразные альдегиды и органические кислоты, и т. д. [15]. В особенности интересным для нас является действие этих лучей на белковые вещества. Как показали исследования М. Шпигель-Адольф [27], Ж. Кларка [28] и других авторов, под влиянием ультрафиолетового света происходит денатурация белков, причем последние теряют свою гидрофильность и способность растворяться в воде. В противоположность тепловой денатурации это изменение может происходить и при облучении сухого белка [29]. Оно происходит также вне зависимости от присутствия кислорода [28]. Те изменения, которые происходят в физических свойствах белкового раствора при его облучении (изменение вязкости, коагуляции и т. д.), зависят от глубоких химических превращений, происходящих под влиянием света в самих белковых молекулах (в первую очередь радиация действует на свободные карбоксильные и аминные группы белка). При этом нужно отметить, что указанные химические изменения наиболее интенсивно протекают при тех длинах волн, которые наиболее полно поглощаются белками. Чрезвычайно важным является то обстоятельство, что кривая абсорбции ультрафиолетового света белками очень хорошо совпадает с кривой, характеризующей гибель бактерий в различных участках ультрафиолетового спектра. Как там, так и здесь мы имеем максимум, лежащий около 2700 \AA , затем идет падение абсорбционной способности белков и бактериоцидного действия света, и затем то и другое явление возрастает при переходе к более коротковолновой радиации. Это совпадение служит хорошим доказательством того, что именно изменение протеиновых молекул под влиянием ультрафиолетового света и вызывает гибель бактерий [30]. Большое значение здесь имеет потеря облученными белками их гидрофильности, что доказывается непосредственным исследованием микроорганизмов, подвергшихся воздействию ультрафиолетовых лучей.

Из сказанного ясно, что все микроорганизмы, в основе протоплазмы которых лежат белковые вещества (а других, небелковых, живых существ мы не знаем), должны погибать при воздействии ультрафиолетового света. Так как изменение белков и связанная с ним гибель бактерий успешно происходит и при отсутствии воды, кислорода и при очень низких температурах, то вероятность проникновения на Землю жизнеспособных зародышей из космических пространств является равной

нулю. Свет звезд изобилует ультрафиолетовыми лучами. На земной поверхности мы защищены от их губительного действия окружающей Землю атмосферой. Вылетев за пределы этой атмосферы, зародыши жизни неминуемо должны погибнуть при воздействии на них пронизывающих межзвездное пространство ультрафиолетовых лучей.

Правда, для спасения разбираемой здесь теории за последнее время выдвигались даже такие «гипотезы», как занос на Землю зародышей жизни с когда-то прилетавшими к нам астронавтами, высшими сознательными существами, совершающими межпланетные путешествия (Р. Эсно-Пельтри) [31], но такого рода предположения более напоминают фантастический роман, чем серьезную научную гипотезу. Те же факты, которыми в настоящее время располагает наука, убеждают нас в полной невозможности заноса жизнеспособных зародышей на Землю.

Итак, мы видим, что как принцип самозарождения, так и теория вечности жизни находятся в коренном противоречии с наблюдаемыми нами фактами. Носящиеся в межзвездном пространстве, ничем не защищенные от смертоносных лучей зародыши жизни не только должны безусловно погибать, но и самая их внутренняя химическая структура подвергается в сравнительно непродолжительное время коренному изменению. Поэтому мы должны совершенно отказаться от представления, что зародыши жизни прилетели на Землю откуда-то извне, и должны искать истоки жизни в пределах нашей планеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Thomson (Lord Kelvin). Президентская речь на собрании Британской Ассоциации в Эдинбурге 1871.
2. Н. Helmholtz. Предисловие к «Handbuch der theoretischen Physik» von Thomson u. Tait. Braunschweig 1874.
3. В. Вернадский. Биосфера. Ленинград 1926.
4. В. Вернадский. Проблемы биогеохимии, II, изд. АН СССР, 1939.
5. Ф. Энгельс. Диалектика природы. Партиздат, 1933.
6. Н. Richter. Zur Darwin'schen Lehre, Schmidts Jahrb. d. ges. Med., 126, 1865, und 148, 1870.
7. Ю. Либих. Письма о химии, пер. Алексеева, 1861.
8. Н. Helmholtz. Ueber die Entstehung des Planetensystems, Vorträge und. Reden. Braunschweig, 1884.
9. Ch. Lipman. American Museum Novitates, 588, 1932.
10. В. Вернадский. Начало и вечность жизни. Петроград, 1922.
11. S. Arrhenius. Lehrbuch der kosmischen Physik. 1903; Образование миров. Одесса, 1912; Вселенная, 1912; Судьба планет, 1912.
12. С. Костычев. О появлении жизни на земле. Госиздат, 1921.
13. А. Немиллов. Как появилась на земле жизнь? Изд. «Образование», 1924.
14. В. Таусон. Доклад в Институте физиологии растений Акад. Наук СССР. Декабрь, 1939.
15. F. Daniels «Photochemistry» Biological effects of radiation Ed. Duggar I, p. 298, 1936.

16. B. Duggar. Effects of radiation on bacteria *ibid.* II, pt. 1119, 1936.
 17. Э. Рохлина. По личному сообщению.
 18. R. Wiesner. *Arch. Hyg.* 61, 1—95 1907.
 19. A. Larsen. *Mitt. Finsen's Med. Lisinst.* I, 89—98, 1900.
 20. P. Pothoff. *Desinfektionen* 6; 10—20, 1921.
 21. V. Bie. *Mitt. Finsen's Med. Lisinst.* I 40—77. 1900, 9, 5—74, 1905.
 22. V. Henri. *Etudes de photochemie.* Paris, 1919.
 23. H. Thiele a. K. Wolf. *Arch. Hyg.* 57, 29—55 1906. 60; 29—30 (1907).
 24. F. Gates. *Journ. Gen. Physiol.* 13, 231—248, 249—260 1929 *Proc. Soc. Exp. Biol. a. Med.* 21, 61—62 1923.
 25. P. Becquerel. *C. R.* 151, 86—88 1910.
 26. L. Hill a. A. Eidinow. *Proc. Roy. Soc.* 95; 163—180 1923 *Britisch. Med. Jour.* I; 388—389 1930.
 27. M. Spiegel - Adolf. *Die Globuline.* Leipzig, 1930.
 28. I. Clark. The Effect of Radiation on proteins. *Biological effects of Radiation.* Ed. Duggar, I, pt. 303, 1936.
 29. H. Stedman a. L. Mendel. *Amer. Journ. Physiol.* 77, 199—210 (1926).
 30. T. Rivers a. F. Gates. *Journ. Exp. Med.* 47, 45—49 1928 *C. Sonne-Strahlentherapie* 28; 45—51 1928.
 31. R. Esnault-Pelterie (Цит. по А. Dauvillier *L'Astronomie Bullet. Societe Astronomique de France* 146 1939.
-

ГЛАВА III

МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ

Среди взглядов, развитых с материалистической точки зрения по вопросу о происхождении жизни, мы должны различать две основных ветви, два основных направления. Согласно первому, жизнь есть первоначальное неотъемлемое свойство всякой материи (гилозоизм). Поэтому возникновение живых существ из неорганической материи есть лишь образование форм жизни, которое происходит чисто механическим путем. Таким образом, это направление довольно тесно смыкается с изложенными в первой главе теориями самозарождения и принимает, что живые существа могут спонтанно возникать из различного рода веществ в настоящее время или, по крайней мере, это имело место в прошлом, в отдаленные периоды существования Земли.

Второе направление (диалектический материализм) считает, что жизнь возникает как новое качество в процессе исторического развития материи. Поэтому живые существа не могли спонтанно самозарождаться или механически формироваться непосредственно из неорганических веществ. Появлению жизни должна была предшествовать длительная эволюция материи, причем в процессе этой эволюции возникали все новые и новые качества, подчиняющиеся все более и более сложным закономерностям. Появление первичных живых существ есть лишь определенный этап этой эволюции.

Оба направления можно проследить от их истоков, от древнегреческих философов до нашего времени. Но мы здесь отметим только основные наиболее яркие пункты истории развития указанных воззрений и сосредоточим главное внимание на новейших представлениях по разбираемому вопросу.

Хотя принцип всеобщей жизненности материи мы находим уже у милетцев, однако, наиболее ярким выразителем идеи о механическом самоформировании живых существ является, безусловно, Демокрит [1], который объяснял возникновение живых существ как результат случайного сочетания или столкновения атомов в их механическом движении. Это движение, по

Демокриту, неотделимо от материи и является причиной изменения всех явлений. Обладающие различными пространственными формами атомы находятся в непрерывном движении, причем последнее нужно понимать как самодвижение, возникающее вследствие взаимодействия атомов с пустотой. Это механическое движение атомов лежит в основе не только всего процесса становления в целом, но и процессов образования отдельных вещей. В частности, живые существа образуются при определенном сочетании атомов земли и огня.

Этот механистический принцип Демокрита в дальнейшем совершенно заслоняется идеями Платона (427—347 до н. э.), и поэтому отсутствует как в начале н. э., так и в средние века. Лишь позднее он находит свое яркое отражение в учении Декарта [2]. В резком противоречии с антропоцентрическими тенденциями всей средневековой физики Декарт пытался свести все качественное многообразие природных явлений к материи и ее движению. «В своей физике Декарт приписывает материи самостоятельную творческую силу и механическое движение рассматривает, как проявление жизни материи». ¹ С этой точки зрения организмы животных и растений суть только весьма сложные механизмы, машины, движение которых определяется взаимостолкновением и давлением частиц вещества. Постоянно наблюдаемое в действительности (как это думал Декарт) зарождение живых существ из неорганической материи представляет собой лишь естественный процесс механического самоформирования сложных машин, происходящий при столкновении более тонких и более грубых частиц и их соединении под влиянием тепла.

Основные нити механистических представлений Декарта находят свое отражение в учении материалистов XVII и XVIII вв. и тянутся к тем взглядам по вопросу о происхождении жизни, которые получили особенное развитие во второй половине XIX и начале XX в. В основном эти взгляды сводятся к утверждению возможности спонтанного возникновения живых организмов из косной материи. Поэтому до опытов Пастера механистические материалисты полностью разделяли взгляды о самозарождении жизни и только заменяли «жизненную силу» виталистов какими-то естественными физическими силами. Ч. Бастиан [3] отстаивал эту точку зрения даже после того, как Пастер показал полную несостоятельность теории самозарождения микробов. Однако спорить против очевидности было трудно. Бастиан остался в одиночестве, и большинство ученых разбираемого нами направления стало считать, что первичное зарождение живых организмов (архебиозис) могло иметь место только в прошедшие эпохи существования нашей планеты.

Наиболее ярким представителем этой точки зрения являлся

¹ Маркс и Энгельс. Соч., т. III, стр. 154.

Э. Геккель (1834—1919) [4]. Исследуя отношения организмов к неорганической природе, он приходит к выводу о всеобщем единстве природы. «Все нам известные естественные тела на Земле, как одушевленные, так и неодушевленные, сходны между собой во всех существенных свойствах материи». Жизнь присуща уже атомам. Поэтому первичное зарождение живых существ хотя еще и не доказано непосредственным опытом, но является несомненным, «логическим постулатом философского естествознания».

Гипотеза заноса зародышей жизни из межзвездных пространств не может объяснить нам появление жизни на Земле. Но так как было время, когда Земля находилась в таком состоянии, которое исключало всякую возможность органической жизни, организмы в какой-то момент развития Земли должны были возникнуть из косной материи. Этому не противоречит то обстоятельство, что в настоящее время мы не наблюдаем самозарождения микроорганизмов. Возникновение организмов из неживой материи было все же возможно в отдаленные периоды существования нашей планеты, так как тогда имели место совершенно особые, отличные от современных внешние условия. Возникшие путем произвольного самозарождения организмы, по мнению Геккеля, должны были являться самыми низшими, простейшими существами, которые, вообще, можно себе представить «совершенно однородными бесструктурными, бесформенными комочками белка». Они возникли из взаимодействия растворенных в первичном море веществ. Но как произошло это возникновение организмов Геккель не объясняет. Мало того, он считает, что «всякое сколько-нибудь подробное представление о первичном зарождении должно считаться пока несостоятельным, потому что мы до сих пор не имеем сколько-нибудь удовлетворительных данных о том чрезвычайно своеобразном состоянии, в котором находилась наша земная поверхность во время первичного возникновения организмов».

Таким образом, Геккель центр тяжести вопроса о происхождении жизни переносил на значение своеобразных физических условий, существовавших когда-то на Земле. Он весьма упрощенно считал, что нет никакого принципиального различия между возникновением кристалла и живой клетки. Простейшее живое существо, «безъядерная монара» выкристаллизовалась, по его мнению, чисто механически из безжизненной материи [5]. В этом коренилась существенная ошибка Геккеля. Выходило так, что простейшие организмы могут в конечном итоге сразу возникнуть из неорганической материи. Весь вопрос сводился только к наличию каких-то особых внешних физических сил, обуславливающих такого рода переход безжизненного вещества в живое существо. Такие силы существовали в прошлом, а сейчас утеряны Землей, и только поэтому в настоящее время самозарождение невозможно.

Вполне естественно, что последующие авторы, стоявшие на точке зрения Геккеля, пытались все же как-то представить себе эти силы, формирующие живые существа из неорганической материи. В качестве этих сил привлекались и электрические разряды, и ультрафиолетовый свет, и какие-то особые силы сродства, а позднее и радиоактивность элементов. В качестве примера здесь можно привести Ф. Эллена [6]. Этот автор приурочивал возникновение жизни к тому времени, когда вода уже образовала первичный океан на земной поверхности. В это время тяжелые, устойчивые нерастворимые соединения отложились в земной коре, а менее устойчивые разлагающиеся находились отчасти в газообразном виде в воздухе, а отчасти в растворенном состоянии в воде. В воздухе и в воде находились азот, кислород и углекислота. При мощных электрических разрядах, во время которых молния непрерывно прорезала влажную теплую атмосферу, возникали, — как это происходит в ничтожном объеме еще и теперь, — аммиак и окись азота, которые увлекались дождем вниз и растворялись в воде. Здесь они встречались с растворенной углекислотой, хлоридами, сульфатами, фосфорнокислыми щелочами и другими солями металлов. Поэтому для соединений азота, которым Эллиен придавал особое значение, создавалась возможность вступать в обменные соотношения с другими различными веществами. При соединении с углекислотой происходило освобождение кислорода, и возникало первичное живое вещество, обнаруживающее в общем уже все те свойства, какие мы встречаем и сейчас у современных организмов. Эллиен не останавливается более подробно на деталях образования живого вещества; он высказывает только предположение, что при перенесении кислорода от азота или к азоту может играть некоторую роль солнечный свет, поглощаемый растворенными в воде или взвешенными в ней соединениями железа. В общей сложности остается все же совершенно непонятным, каким образом привлекаемые Эллиеном силы могут формировать организованную материю.

Близкие к указанным представления были развиты позднее, уже в XX в. Г. Осборном [7]. В начале своей книги «The origin and evolution of life» («Возникновение и эволюция жизни») он изображает еще безжизненную Землю, плотно укутанную, как одеялом, тогдашней атмосферой, содержащей в себе большое количество водяного пара и углекислоты. Эта углекислота, по мнению Осборна, и послужила источником углерода для образования тех органических веществ, из которых затем возникли организмы. «Мы можем, — пишет он, — принять гипотезу, согласно которой в наиболее ранние периоды организации живой материи произошло последовательное соединение необходимых для жизни десяти элементов. Из этих элементов четыре наиболее важные были получены из их первичных соединений — воды, связанного азота (вулканических извержений) и

углекислоты атмосферы». Однако Осборн совершенно не объясняет, каким путем могло произойти такого рода превращение. Он только ограничивается довольно неясными указаниями на «притягательную силу» кислорода и водорода.

Как мы увидим ниже, приведенные утверждения о первичном возникновении углекислого газа в атмосфере нашей планеты являются совершенно произвольными и вряд ли соответствующими действительности. Но они сыграли большую отрицательную роль в истории развития наших представлений по вопросу о происхождении жизни, так как из них были сделаны весьма важные выводы, значительно осложняющие данный вопрос. На самом деле, если к моменту образования первичных живых существ на земной поверхности не было никаких органических веществ, а были только углекислота, вода, кислород, азот и ряд минеральных солей, то первичные организмы должны были обладать способностью усваивать эти вещества, питаться ими подобно современным нам растениям. «Пионерами жизни, — писал по этому поводу В. Омелянский (1867—1928) [8] в своих «Основах микробиологии» (1922), — несомненно, являлись какие-то примитивные существа, не нуждающиеся в готовых органических веществах и способные к полному органическому синтезу их из неорганических соединений — углекислоты, кислорода и азота воздуха, а также из различных минеральных солей. К этой группе микробов с примитивным обменом принадлежат, например, нитрифицирующие организмы, отчасти азотусвояющие бактерии, а может быть, и синезеленые водоросли».

Но все эти перечисленные живые существа обладают уже сложным строением, они должны были быть наделены особой физико-химической организацией, аппаратами, позволяющими им осуществлять синтез органических соединений из веществ мертвой природы. Как же такие образования могли возникнуть непосредственно из углекислоты, воды и минеральных солей? В. Омелянский, отражая взгляды своего времени, дает на это очень простой ответ. «Когда Земля остыла, — пишет он, — и на ней стало возможным появление органической жизни, она возникла как результат неведомого нам сочетания материи и силы». Таким образом, и многие ученые XX в., подобно Геккелю, стремились свести вопрос о возникновении жизни к наличию в прошлые периоды существования нашей планеты каких-то специальных, необычайных и неведомых нам внешних условий.

В конце XIX и в начале XX вв., параллельно с указанными выше теориями, стремящимися нарисовать картину возникновения жизни в отдаленные геологические эпохи, создавалось иное, но тоже механистическое направление, ставящее целью разрешить вопрос о происхождении жизни экспериментальным путем. Это направление родилось на почве исследовательской работы по созданию так называемых моделей живых клеток.

В качестве примера такой модели можно указать на искусственную клетку М. Траубе (1826—1894) [9]. Траубе помещал маленький кристалл медного купороса в водный раствор железистосинеродистого калия. При этом на месте соприкосновения раствора медной соли с окружающим раствором $K_4Fe(CN)_6$ возникает перепонка, состоящая из нерастворимой в воде железистосинеродистой меди. Эта перепонка образует полупроницаемый мешочек, окружающий кристаллик медного купороса и заключающий в себе раствор этого вещества. При постепенном растворении кристаллика внутри указанного мешочка все время повышается осмотическое давление. Очень тонкая и неэластичная перепонка прорывается, и раствор медной соли через получающуюся таким образом щель приходит в соприкосновение с раствором железистосинеродистого калия. Вследствие этого на месте разрыва сейчас же создается перепонка из железистосинеродистой меди, которая закупоривает образовавшуюся щель. Таким образом мешочек несколько увеличивается. Это явление все время повторяется в том же порядке, мешочек растет, приобретая определенные форму и размеры. Траубе считал, что его искусственная клетка имитирует рост настоящей живой клетки, и поэтому изучение указанной модели позволяет понять физико-химические причины, обуславливающие рост.

Позднее О. Бюкли (1848—1920) [10] получил модель, воспроизводящую движение живых амёб. Он брал капельку прованского масла, стёртого с раствором поташа. Такая капелька, подобно амёбе, выпускала псевдоподии, передвигалась и даже могла захватывать твердые частицы, подобно тому, как амёба захватывает клетки водорослей и пр. Аналогичные простейшие модели, воспроизводящие движение, питание и деление клеток, были построены также Румблером [11] и рядом других исследователей.

Все эти модели имеют научный интерес только в том случае, если воспроизводимые ими явления основываются на тех же физико-химических причинах, которые обуславливают эти явления и в живой клетке. В этом случае модель позволяет более детально изучить данные явления в менее сложной обстановке, чем та, которая имеет место в протоплазме. Но, к сожалению, очень часто исследователи увлекались внешним поверхностным сходством получаемых ими моделей с живыми существами, что приводило к чрезвычайно упрощенным, механистическим заключениям. В качестве примера такого чрезмерного увлечения внешним сходством можно привести работы С. Ледюка [12] над получением так называемых «осмотических клеток». В основном Ледюк воспроизводил те же самые явления, что и Траубе, только в гораздо более сложной обстановке. В качестве исходного материала он брал кусочек сплавленного хлористого кальция и погружал его в насыщенный раствор поташа или трехосновного фосфорнокислого калия. В ре-

результате этого возникала полупроницаемая оболочка из мела или фосфорнокислого кальция, которая и образовывала осмотический мешочек. Путем изменения концентрации растворов, добавления различного рода примесей и другими приемами Ледюку удавалось получать очень сложные образования, по своему виду иной раз поразительно напоминающие водоросли, грибы и т. д. Все эти образования возникают главным образом в результате действия осмотических сил и сил поверхностного натяжения.

Конечно, нет никакого сомнения, что осмотические явления играют весьма существенную роль в жизни растительных и животных клеток. Но одного внешнего сходства еще недостаточно для того, чтобы делать выводы о полном тождестве физико-химических процессов, протекающих в живой клетке и в вышеописанных «осмотических клетках». Но именно на этот путь и вступил в своих работах Ледюк. Увлеченный внешним сходством получаемых им образований с живыми организмами, он считал, что его опыты могут быть положены в основу нового направления в биологии. Он назвал это направление «синтетической биологией» — наукой о лабораторном получении живых форм из неживого вещества.

Вряд ли нужно доказывать полную безнадежность такого чрезвычайно упрощенного подхода к разрешению вопроса о возникновении жизни. Как нельзя объяснить все жизненные явления наличием какого-либо химического радикала, так нельзя надеяться построить живой организм в результате действия одних только осмотических сил. Сходство получаемых Ледюком образований с живыми существами не больше, чем внешнее сходство живого человека с его мраморной статуей, но мы никогда всерьез не поверим ни в оживление Галатеи, ни в визит «Каменного гостя».

Ледюк намечал только пути к синтезу организмов. В начале нашего века многие авторы пошли еще дальше и в своих работах утверждали, что им удалось искусственным путем получить живые существа. Все эти утверждения оказались основанными на более или менее грубых ошибках и не имеют никакого значения в деле разрешения проблемы о происхождении жизни. Но они имеют некоторый интерес с точки зрения характеристики упрощенного механистического подхода к этой проблеме.

В качестве примера такого неудачного «синтеза жизни» можно привести работу Кукука [13], опубликованную им под весьма громким заглавием «Разрешение проблемы самозарождения». По наблюдениям автора, при воздействии радия на смесь желатины, глицерина и поваренной соли через сутки на желатине прорастает особая культура, образуются живые клетки, которые растут, делятся и проявляют другие признаки жизни. Работа носила явно дилетантский характер и обнаруживала не-

достаточное знакомство автора с коллоидными системами. Конечно, эта работа не имеет никакого реального значения, но ее нельзя рассматривать как случайное явление, как некоторый курьез. Она до известной степени в весьма утрированном, даже шаржированном виде отображает собою те механистические взгляды, которые были развиты Геккелем и его последователями. Она могла появиться только на почве этих взглядов и теорий. На самом деле, ведь Геккель считал, что простейшие живые существа могли когда-то сразу возникнуть из неорганической материи, подобно тому, как выкристаллизовывается кристалл. Для этого необходимо было только наличие каких-то специфических неведомых сил, обуславливающих такого рода переход безжизненного вещества в живое существо. Кукук и искал эти силы в плохо еще изученных в то время радиоактивных явлениях.

В сущности, Геккель не так уже далеко ушел от теории первичного самозарождения в его прежнем наивном виде, он только перенес это событие в давно прошедшие времена и заменил «жизненную силу» виталистов какими-то специфическими, необычными и неведомыми нам внешними условиями. Каким образом эти условия и силы формировали те чрезвычайно сложные системы, какими являются даже простейшие живые существа, оставалось совершенно неясным и для Геккеля, и для всех его последователей.

Вполне понятны, поэтому, те многочисленные возражения, которые выставлялись и выставляются сторонниками вечности жизни против теорий, принимающих возможность зарождения живых организмов в отдаленные периоды существования нашей планеты. В основном все эти возражения могут быть сведены к двум. Первое было сравнительно давно высказано В. Прейером (1841—1897) [14]. Этот автор довольно зло посмеялся над теми таинственными условиями, которые были необходимы для возникновения жизни в давно прошедшие геологические эпохи. Он указывал, что нельзя как следует понять, что это были за условия. Если они были те же, что и сейчас, то зарождение жизни являлось невозможным, потому что, как это показали исследования Пастера, оно сейчас не происходит. Если же условия были отличные от существующих, то возникшие организмы должны были бы сейчас же погибнуть, так как они в настоящее время существуют в очень узких рамках внешних условий.

Другое возражение было сформулировано С. Костычевым (1877—1931) [15] в его небольшой популярной книжке «О появлении жизни на Земле» (1921). Возражение это сводится к следующему: живые существа, даже наиболее просто устроенные, обладают весьма сложной, тонкой и совершенной структурой протоплазмы. «Только благодаря такому строению протоплазмы и весьма совершенному разделению функций между ее

составными частями возможен целый ряд жизненных явлений».

«Все характерные для живых существ превращения веществ и энергии были бы невозможны без посредства специально приспособленного аппарата. Но именно случайное возникновение сложного аппарата крайне неправдоподобно. Если бы я предложил читателю обсудить, насколько велика вероятность того, чтобы среди неорганизованной материи путем каких-нибудь естественных, например, вулканических процессов случайно образовалась большая фабрика — с топками, трубами, котлами, машинами, вентиляторами и т. п., то такое предложение в лучшем случае произвело бы впечатление неуместной шутки. Однако простейший микроорганизм устроен еще сложнее всякой фабрики; значит его случайное возникновение еще менее вероятно».

Приведенные возражения имеют существенное значение в том случае, если мы будем стоять на точке зрения Геккеля, если мы будем считать, что в определенный период существования Земли, под влиянием каких-то физических сил и неведомых условий, из неживой материи сразу возник живой организм, подобно тому, как кристалл выделяется из маточного раствора. Если даже этот организм и являлся простейшей «монерой», он все равно должен был быть уже наделенным всеми атрибутами живого существа, т. е. его внутренняя структура, строение должно было быть приспособлено к несению определенных жизненных функций. Но возникновение этой приспособленности, этой «целесообразности» внутреннего строения в результате воздействия каких-то внешних, физических, «слепых» сил является крайне невероятным.

Совершенно иначе будет обстоять дело, если мы отбросим вышеприведенное механистическое представление и станем на ту точку зрения, что простейшие живые организмы возникли постепенно в результате длительной эволюции органического вещества, лишь как известный этап на пути общего исторического развития материи. В этом случае и возражения Прейера и возражения Костычева теряют свою силу. В своих рассуждениях Костычев допускал ту же самую ошибку, которую в свое время делали антидарвинисты, когда они доказывали невозможность естественного возникновения высших организмов, обладающих рядом органов, прекрасно приспособленных к несению определенных функций. Несомненно, что фабрика ни при каких естественных, независимых от человека условиях возникнуть не может именно потому, что всякая фабрика строится по определенному, заранее предусмотренному плану. Все в этой фабрике, начиная от кладки стен и деталей машин и кончая расположением отдельных помещений, рассчитано для выполнения определенных, заранее предусмотренных строителем целей. Стихийное выполнение именно такой человеческой цели, такого заранее установленного плана невозможно в приведенном случае.

Ни о каком таком заранее предначертанном плане строения протоплазмы не может быть и речи, или мы тогда вообще должны говорить о творческой воле божества и о плане творения. Но определенная организация протоплазмы, приспособленность ее внутренней структуры к несению определенных функций вполне могла сложиться в процессе эволюции органического вещества точно так же, как в процессе эволюции простейших живых существ возникли высоко организованные животные и растения.

С указанной точки зрения совершенно беспредметным делается и возражение Прейера, потому что в этом случае нам не требуется выдумывать какие-то сверхестественные силы и условия. Как мы увидим ниже, возникновение жизни в процессе эволюции органического вещества происходило примерно при тех же условиях температуры, влажности, давления, освещения и т. д., какие мы имеем и сейчас. Определенная «целесообразная» организация протоплазмы возникла не под действием каких-то внешних формообразующих сил, а как результат свойств самих углеродистых соединений, как результат тех закономерностей, на основе которых протекала эволюция этих соединений. Единственным условием, которое было необходимо для этой эволюции органических веществ и которого сейчас нет на земной поверхности, является (как это ни звучит парадоксально) безжизненность Земли. Только при отсутствии организмов могла возникать жизнь. Сейчас возникшее тем или иным путем на земной поверхности органическое вещество не может претерпевать длительную эволюцию. Уже в сравнительно короткий срок оно будет уничтожено, съедено многочисленными хорошо вооруженными в жизненной борьбе организмами, населяющими землю, воду и воздух. Но в давно прошедшие времена, когда Земля еще была стерильна, этот процесс эволюции органической материи мог длиться как угодно долго и на основании тех закономерностей, которые мы рассмотрим ниже, должен был привести к возникновению живых существ.

Идею об эволюции материи, как основе для возникновения жизни, мы, подобно всем остальным концепциям по разбираемой нами проблеме, находим уже у древнегреческих философов. Как отмечалось в первой главе, диалектический принцип эволюционного развития материи был поднят Гераклитом [16] на исключительную высоту. Этот принцип получил дальнейшее мощное развитие в учении Эмпедокла [17] и (частично) Демокрита, которые говорили об эволюции всего космоса и, в частности, эволюции живых существ и указывали на то, что организмы прошли длинный путь развития, прежде чем стать такими, какими мы их видим теперь.

Однако в дальнейшей истории разбираемого нами вопроса этот принцип не находит своего отражения в течение очень долгого времени. Только у французских материалистов XVIII в. мы встречаем отдельные мысли, касающиеся эволюции именно

живых существ. Так, Ламетри [18] (1709—1751) в своих произведениях говорит о бесконечно долгом развитии органических видов, которые непрерывно изменяются под непосредственным воздействием внешней среды и внутренних усилий. О том же говорит Робине [19] (1735—1820) в своей попытке объяснить происхождение и развитие живых существ. Наконец, Дидро [20] (1713—1784) в «Мыслях об объяснении природы» указывает, что возникший из соединения ряда элементов комочек живой материи — эмбрион — проходит через бесконечные стадии развития в течение ряда миллионов лет.

Широкое развитие диалектический метод мышления получает в классической немецкой натурфилософии, что нашло свое отражение и в разрешении разбираемой нами проблемы. Хотя, как это мы видели в первой главе, большинство немецких идеалистов конца XVIII и начала XIX вв. придерживалось принципа самозарождения жизни, у Окена [21] мы находим в довольно уже разработанном виде идею о последовательной эволюции углеродистых соединений, приведшей к образованию первичной слизи, из которой затем развились все живые существа.

Этот факт в особенности интересно отметить в связи с тем, что мощно развиваемый естествознанием начала XIX в. принцип эволюции в области биологии применялся только к уже возникшим живым существам. К вопросу о происхождении жизни он в большинстве случаев еще не прилагался. Ярким примером этому может служить Ж. Ламарк [22]. Исходя из идей французских просветителей, Ламарк построил свою знаменитую теорию эволюции органического мира. Но к вопросу о происхождении жизни он не применял этого принципа и оставался убежденным сторонником самопроизвольного зарождения живых существ из неорганической природы.

Чарльз Дарвин [23] (1809—1882) в своих сочинениях почти ничего не говорит непосредственно по вопросу о происхождении жизни, о возникновении живых существ. Только в одном из писем к Уоллесу (от 1872) он, критикуя опыты Бастиана и считая их совершенно неправдоподобными, указывает, что произвольное зарождение является еще недоказанным, «однако, в общем, я считаю возможным, что архебиозис является правильным». По мнению Дарвина, жизнь когда-то и как-то должна была возникнуть, но каким образом это произошло — нам пока еще неизвестно. Однако громадное значение учения Дарвина для разрешения проблемы происхождения жизни состоит, конечно, не в этих отдельных высказываниях, а в тех закономерностях, которые он установил применительно к эволюции организмов. Как мы увидим ниже, только на основе этих закономерностей удастся правильно понять процесс эволюции материи, приведший к возникновению живых существ.

Впервые с наибольшей отчетливостью диалектический метод был применен для разрешения разбираемой нами проблемы

Ф. Энгельсом [24]. В «Диалектике природы» Энгельс подверг сокрушительной критике как принцип самозарождения, так и идею вечности жизни. Жизнь не зарождается произвольно из неорганических веществ и не существует вечно, она возникает в процессе эволюции материи всякий раз, когда для этого создаются благоприятные условия. В введении к «Диалектике природы» 1880 г. Энгельс, рисуя картину постепенного развития звездного мира и нашей планетной системы, отмечает те основные этапы эволюции материи, которые привели к возникновению органической природы. «Наконец, — пишет он, — если температура охладилась до того, что — по крайней мере на каком-нибудь значительном участке поверхности — она уже не переходит границ, при которых способен существовать белок, то при наличии благоприятных химических условий образуется живая протоплазма...» «Может быть, — пишет далее он, — прошли тысячелетия, пока не создались условия, необходимые для следующего шага вперед, и из этого бесформенного белка (о котором Окен пророчески...) не произошла благодаря образованию ядра и оболочки первая клетка. Но вместе с этой первой клеткой была дана и основа для формообразования всего органического мира».¹

Из естествоиспытателей конца прошлого века, которые стремились разрешить вопрос о происхождении жизни на основе эволюционного принципа, здесь в особенности нужно отметить Э. Пфлюгера (1829—1910) [25], создавшего свою весьма интересную теорию по разбираемой нами проблеме. В противоположность Геккелю он искал причину возникновения живых существ не только в своеобразии внешних условий, но и, главным образом, в свойствах тех веществ, из которых должны были возникнуть организмы. В своих построениях он исходил из разбора химических свойств белка — тела, с которым он неразрывно связывал сущность жизненного процесса. Пфлюгер считал, что в организмах существуют две принципиально различные категории белка: белок запасной, — «мертвый» и белок протоплазменный — «живой». К первой категории относятся такие вещества, как белок куриного яйца, запасный белок семян и т. д. Эти белки являются весьма устойчивыми, химически инертными веществами. В отсутствии микроорганизмов их можно сохранять неограниченно долгое время, и при этом они не испытывают каких-либо существенных химических изменений. Напротив, «живой» белок протоплазмы является весьма неустойчивым соединением. На этой неустойчивости, по мнению Пфлюгера, и базируется химический обмен веществ внутри живой клетки. Всякое живое вещество до известной степени всегда разлагается само по себе. Причину этого Пфлюгер видел в наличии особых химических группировок в составе «живого» белка. В частности,

¹ Ф. Энгельс. Диалектика природы, стр. 94—95. Партиздат, 1933.

«живой» белок должен обладать способностью самоокисляться кислородом воздуха. Это следует из того факта, что при саморазложении живого вещества всегда образуется углекислота. Но углекислота не может образоваться прямым окислением углеродного атома и простым отщеплением молекул CO_2 . Те продукты распада, которые мы получаем при разложении «мертвого белка», или сам «мертвый» белок как таковой совершенно неспособен к такого рода окислению. Следовательно, в «живом» белке должны присутствовать особые атомные группировки, особые радикалы, способные к саморазложению и самоокислению. Ряд соображений привел Пфлюгера к гипотезе, что молекула «живого» белка характеризуется присутствием радикала циана (CN). Основное доказательство этого Пфлюгер видел в сравнении азотсодержащих продуктов разложения белка, получающихся при нормальном обмене живого организма с соответствующими продуктами разложения «мертвого» белка, которые возникают при искусственном его расщеплении. Эти продукты коренным образом различны между собой. Характерные вещества, возникающие при разложении «живого» белка в организме, как-то: мочевины, мочевиная кислота и т. д., никогда не получаются при искусственном расщеплении «мертвого» белка. Но эти характерные вещества легко могут быть воспроизведены из цианистого соединения путем перемещения атомов; так, например, в синтезе Ф. Вёллера (1800—1882) мочевины была получена из цианистого аммония.

Но образование циана сопряжено со значительным поглощением тепла, что следует из того, что циан, как показывает его калориметрическое исследование, представляет собой радикал с большим количеством энергии. «При образовании клеточного вещества, т. е. «живого» белка из пищевого белка, — писал Пфлюгер, — происходит изменение последнего, сопровождаемое, вероятно, значительным поглощением тепла вследствие того, что атомы азота вступают в цианистое соединение с атомами углерода». Таким образом, при введении циана в живую молекулу «в живую материю вводится момент сильного внутреннего движения». Этим, по мнению Пфлюгера, и объясняется большая разложимость белка и его способность к самоокислению. Атомы циана, по представлению цитируемого автора, находятся в сильном колебательном движении. Углеродный атом циана при случайном приближении двух кислородных атомов выходит из сферы действия азота и приближается к сфере действия кислородных атомов и затем соединяется с ними в углекислоту.

Итак, Пфлюгер упрощенно стремится свести весь обмен веществ, все свойства живой протоплазмы к наличию определенных химических группировок цианового радикала, входящего в состав «живого» белка. Исходя из этого положения, Пфлюгер и строит свою теорию происхождения жизни. «Когда думаешь о начале органической жизни, — писал он, — не нужно обращать

внимания прежде всего на углекислоту и аммиак, так как они оба представляют собой конец жизни, а не ее начало. Начало ее лежит гораздо в большей степени в циане».

Разрешение задачи о возникновении живого вещества сводится, таким образом, к решению вопроса о том, как образовался циан. «В этом отношении органическая химия приводит нас к весьма важному факту, заключающемуся в том, что циан и его соединения образуются в калильном жару, когда необходимые азотсодержащие соединения соприкасаются с раскаленным углем или же когда их смесь доводят до белого каления. Поэтому ничего не может быть яснее возможности образования цианистых соединений в то время, когда Земля целиком или отчасти находилась в огненном или раскаленном состоянии. Следовательно, жизнь происходит от огня и в своей основе заложена в то время, когда Земля была раскаленным огненным шаром».

«Если теперь принять во внимание неизмеримо длинный промежуток времени, в течение которого бесконечно медленно происходило охлаждение земной поверхности, то циан и его соединения имели достаточно времени и возможности широко следовать своей большой склонности к превращению и образованию полимеров и при присоединении кислорода, а позднее воды и солей, перейти в тот саморазлагающийся белок, который составляет живую материю».

Основные представления Пфлюгера о саморазлагающемся и самоокисляющемся «живом» белке в том виде, как это рисовал себе указанный автор, совершенно оставлены современной биохимией. Не только белок, но и другие органические вещества, например, углеводы, вне организма являются весьма устойчивыми, химически инертными соединениями, в то время как в живой клетке они подвергаются довольно быстро идущим изменениям и превращениям. Это зависит от наличия в живой клетке целой системы катализаторов — ферментов, которые чрезвычайно сильно увеличивают скорость течения определенных химических реакций и тем создают необходимые предпосылки для обмена веществ. В частности, и азотистый обмен осуществляется в результате ферментативного действия, но он протекает совершенно иначе, чем представлял себе Пфлюгер. Ни запасный, ни протоплазмальный белок не могут подвергаться непосредственному окислению кислородом воздуха. Распад белка в живой клетке обычно начинается с его гидролитического расщепления на пептоны и аминокислоты, затем, в результате действия особой довольно сложной ферментативной системы, происходит окисление получающихся таким образом продуктов распада, причем и оно идет не непосредственно в результате присоединения кислорода воздуха, а через посредство связанного кислорода воды. Азот обычно отщепляется в форме аммиака. Мочевина, мочевая кислота и т. д. являются уже продуктами вторич-

ного синтеза и ни в коей мере не указывают на наличие цианового радикала в белковой молекуле. Таким образом, обязательное присутствие такого радикала в протоплазменном белке находится в настоящее время под очень и очень большим сомнением. Во всяком случае можно с уверенностью сказать, что никакими радикалами или отдельными молекулярными группировками какого угодно из известных нам соединений нельзя объяснить всей совокупности жизненных свойств организма. В этом отношении Пфлюгер впал в несомненную ошибку, слишком упрощенно подождая к сложному явлению совершающегося в клетке обмена веществ.

И тем не менее, теории Пфлюгера принадлежит исключительное значение в деле развития наших представлений по вопросу о происхождении жизни. Пфлюгер не только использовал принцип эволюционного развития материи для решения этого вопроса. Он первый (пусть не совсем правильно) осветил возможности первичного возникновения органических веществ, тех веществ, которые, благодаря присущему им громадному запасу химической энергии, обладают широкими возможностями к дальнейшим изменениям и превращениям. Он первый указал, что «углекислота является не началом, а концом жизни». Впоследствии это положение было совершенно забыто, и многие последующие авторы (как механицисты, так и эволюционисты) исходят в своих построениях из того положения, что именно углекислота была той первичной формой, в которой углерод появился на земной поверхности.

В XX в. эволюционный подход к проблеме происхождения жизни находит уже большое количество сторонников среди естествоиспытателей. Но самая трактовка этого вопроса обычно носит еще довольно поверхностный характер. В большинстве случаев по этому вопросу имеются только популярные брошюры и статьи или общие высказывания при публичных выступлениях. Мы отметим здесь некоторые из них.

В частности, значительный интерес представляет речь, произнесенная А. Шефером [26] на годовом собрании Британской Ассоциации в Денди в 1912 г. на тему «Жизнь, ее природа, происхождение и сохранение». Касаясь вопроса о происхождении жизни, Шефер говорил: «мы не только вправе, но даже вынуждены верить, что живое вещество в прошлом обязано было своим происхождением причинам, по характеру аналогичным тем, какие действовали при образовании всех других форм материи во вселенной, другими словами, — процессу постепенной эволюции...» «Рассматривая эволюцию живой материи с точки зрения и в свете эволюции материи вообще, мы убеждаемся, что первая возникла не путем внезапного превращения, вызванного естественной или сверхъестественной силой, но путем постепенного процесса видоизменения из материала безжизненного, через материал, стоящий на границе между одушевленностью и

неодушевленностью, в материал, обладающий всеми характерными чертами, с которыми мы связываем понятие «жизнь». Самый процесс эволюции органической материи рисуется Шеферу еще в довольно туманном виде. Он говорит (и то весьма неопределенно) об образовании органического вещества, затем об образовании массы коллоидной слизи, обладающей способностью к ассимиляции, затем об отделении некоторой богатой фосфором части живой материи, о возникновении энзимов и, наконец, о дифференциации клеточного ядра. Сколько-нибудь более подробное представление о путях и причинах эволюции Шефер считает недоступным при существующем состоянии наших знаний.

Шефер надеялся, что необходимые для этого данные будут почерпнуты из непосредственного наблюдения окружающей нас природы, так как он считал вполне возможным, что жизнь возникает в процессе эволюции и сейчас, только мы не умеем видеть это. Но с последним утверждением цитируемого автора трудно согласиться. Эволюция органической материи есть процесс исторический, а следовательно, необратимый. Жизнь не может сейчас возникать не потому, что для этого в настоящее время нет благоприятных внешних условий, а потому, что она уже возникла и достигла в процессе эволюции определенной степени совершенства. Как мы уже отмечали выше, если бы сейчас и возникло какое-либо органическое вещество или первичная коллоидная слизь, то, попав в подходящие для жизни условия, они неминуемо были бы уничтожены уже существующими высоко развитыми и приспособленными к этим условиям организмами.

Спустя более чем десять лет после речи Шефера во французском астрономическом журнале появилась статья П. Беккереля [27], посвященная вопросу о происхождении жизни на Земле. Главный интерес этой статьи состоит в той развернутой критике, которую ее автор осуществляет по отношению к теории панспермии. На основании собственных экспериментальных данных он весьма убедительно доказывает невозможность заноса к нам на Землю зародышей жизни из межзвездных пространств. Но в противовес этой теории он развивает и собственные взгляды на происхождение жизни. «В бесконечности, на небесных планетах, подобных нашей Земле, на какой-то фазе их эволюции всегда должно было существовать возникновение, развитие и исчезновение жизни, как всегда существует начало, трансформация и уничтожение миров». Земная жизнь есть лишь частный случай этой космической эволюции материи. Однако самую эволюцию органического вещества, приведшую к возникновению живых организмов, Беккерель дает еще более эскизно, чем Шефер.

Беккерель, как и многие его предшественники, принимает за первичное соединение углерода углекислоту. Основываясь

на опытах Бертло и Стоклазы по синтезу органических веществ при воздействии на уголекислоту ультрафиолетового света и радиактивных излучений, автор строит свою теорию так называемого «радиобиогенеза». Согласно этой теории, при воздействии ультрафиолетовых лучей Солнца и радиактивности горных пород из уголекислоты, воды и минеральных веществ в определенный геологический период должны были возникнуть органические вещества, затем создались какие-то совершенные коллоидные системы, и из них возникли зародыши жизни. В этих воззрениях Беккереля значительный интерес представляет возможность возникновения органических веществ при воздействии ультрафиолетового света. Но наиболее важный для нас момент эволюции — образование первичных зародышей — остается еще совершенно неясным, как это признает и сам автор теории.

В том же году, что и статья Беккереля, в американском научно-популярном журнале появилась статья Ч. Липмана [28], посвященная интересующему нас вопросу. Сжато изложив предшествующие теории, Липман развивает свою точку зрения. Он указывает, что в ранние периоды своего существования Земля обладала не только высокой температурой, но и повышенной химической и электрической активностью. Уголекислота, вода и нитраты, соединяясь между собой, образовывали органические молекулы типа аминокислот и полипептидов. Свойства этих молекул определялись взаиморасположением атомов в пространстве. Могла возникнуть и такая молекула, которая по своему росту и взаимодействию с окружающей средой могла бы уже рассматриваться как «наша первая живая молекула». Эта молекула при известных условиях реагировала с другими молекулами и постепенно образовывала все более и более сложные химические агрегаты до тех пор, пока по прошествии геологических лет не развились настоящие протеины и настоящая протоплазма. Фактическое подтверждение своих взглядов о возможности возникновения «живой молекулы» Липман видит в существовании фильтрующихся вирусов. К этому вопросу мы еще вернемся при дальнейшем изложении.

Примерно в этот же период времени в СССР появился целый ряд популярных брошюр по вопросу о происхождении жизни (М. Гремяцкий [29], Б. Личков [30], Б. Завадовский [31], В. Сафонов [32] и др.). В том же году, когда появились статьи Беккереля и Липмана, была издана и моя брошюра «Происхождение жизни» [33]. В ней впервые излагались взгляды, которые в более развернутом виде читатель найдет в настоящем издании. Следует также особо отметить вышедшую в 1928 г. брошюру А. Кулябко [34], в которой автор в основном излагает взгляды Шефера по вопросу о происхождении жизни. Здесь, как и в работе Липмана, фигурируют «живые молекулы», образующие при своем разрастании «однородные по своему составу обширные массы», из которых возникли живые существа.

Принцип эволюционного развития материи, как основы, на которой происходило возникновение жизни, нашел свое яркое отражение в книге акад. В. Комарова (род. 1869) [35] «Происхождение растений». Рассмотрев и отвергнув теории вечности жизни и заноса живых существ к нам на Землю из межпланетных пространств, В. Комаров говорит следующее: «Единственно научной является биохимическая теория происхождения жизни, глубокое убеждение в том, что появление ее было лишь одним из последовательных этапов в общей эволюции вещества, в усложнении длинного ряда углеродистых соединений азота». Далее он рисует ту среду и те условия, при которых, по его мнению, возникли первичные организмы, и ту последующую эволюцию, благодаря которой образовались все многочисленные представители растительного царства.

Чтобы охарактеризовать взгляды, высказанные в самое последнее время по разбираемому нами вопросу, можно привести две большие работы, из которых одна была напечатана в Англии, а другая во Франции в 1939 г.

Автор изданной в Лондоне книги «Life's Beginning on the Earth» («Начало жизни на Земле») Р. Бойтнер [36] исходит в своих представлениях из следующих основных положений. Наиболее характерной чертой жизни является бесконечное разнообразие ее морфологии. Ссылаясь на Ледюка и Бючли, Бойтнер указывает, что могут существовать и вне живой природы искусственные структуры, сходство которых с живыми организмами не случайно. Однако эти искусственные структуры не обладают всей полнотой живых форм, в частности, они не могут сами воспроизводить себя.

К проблеме самовоспроизведения можно подойти с точки зрения изучения вирусов, — например, вируса табачной мозаики. Для того, кто считает, что живые организмы должны иметь определенную форму, вирус является безжизненным, потому что он представляет собой лишь молекулярный агрегат. Но так как основным признаком жизни является способность к самовоспроизведению, то вирус можно считать живым. Он представляет собой мономолекулярную форму жизни и, по существу, является самовоспроизводящим энзимом, так как производит в окружающей среде ферментативные реакции, конечным результатом которых является самый материал вируса.

Таким образом, живые организмы характеризуются двумя признаками: 1) способностью превращать вещества окружающей среды в вещества собственного тела и 2) способностью образовывать различные формы. В процессе эволюции материи сперва возникла первая способность. Исходя из опытов Габера, Бойтнер считает, что мощные электрические разряды, когда-то имевшие место на земной поверхности, должны были привести к возникновению бесчисленного множества органических веществ. Среди этих растворенных в первичном океане веществ

в результате случайных причин должны были возникнуть сперва просто энзимы, а затем и энзимы, способные к самовоспроизведению, — саморегенерирующие энзимы. Это была первичная форма живого вещества, в результате разрастания и усложнения которой позднее возникла структура, характерная для живых организмов. В качестве приложения Бойтнер дает довольно подробное изложение английского перевода первого издания моей книги [37], причем в основном он присоединяется к моим взглядам.

В двух обширных статьях, появившихся в журнале «L'Astronomie» в 1938 и 1939 гг., А. Довилье [38] дает развернутую картину возникновения и последующей эволюции нашей планеты. Согласно излагаемым представлениям, наша Земля, подобно другим планетам солнечной системы, образовалась из газового сгустка, оторвавшегося от поверхности Солнца. При охлаждении этого сгустка происходило образование первичного земного ядра. Затем возникли силикатные оболочки земной коры (сима и сиаль). Вследствие охлаждения и сжатия происходило изменение поверхности Земли, образовывались океанические впадины и глубокие трещины. В определенный момент в земной атмосфере возникла вода, в виде перегретого водяного пара, и углекислота. В дальнейшем водяные пары сгустились и дали начала для первичных океанов и морей. Затем идет история образования органических веществ и возникновения жизни.

Как и многие предшествующие авторы, Довилье считает, что источником для образования органических веществ на земной поверхности являлась углекислота, восстанавливаемая в формальдегид ультрафиолетовым светом. В этом отношении он в основном повторяет идеи, высказанные Б. Муром и затем П. Беккерелем. Тогдашняя земная атмосфера, вследствие отсутствия в ней кислорода и озона, была прозрачна для ультрафиолетовых лучей с длиной волны ниже 2000 Å. Поэтому происходило непосредственное восстановление углекислоты в формальдегид. В дальнейшем этот процесс довольно скоро должен был остановиться в результате образования кислорода, а затем и озона, которые создали непроницаемый для ультрафиолетового света экран. Однако, по мнению Довилье, таким путем все же могло образоваться достаточное количество формальдегида, с которым, вследствие электрических разрядов (молний), могут соединяться азотистые вещества. Аммонийный азот может и непосредственно вступать в соединения с CO_2 под влиянием ультрафиолетового света, который способствует и полимеризации возникающих таким образом органических веществ (Бели).

Таким путем в первичном земном океане возникли высокомолекулярные органические соединения. В результате Броуновского движения коллоидные мицеллы могли группироваться между собой самым различным образом. В течение многих тысячелетий случайно могли возникнуть такие пространственные

комбинации мицелл, которые соответствуют структурам простейших организмов. В качестве примера таких случайно возникающих конфигураций вещества Довилье приводит кристаллизацию глицерина. Несмотря на то, что глицерин был известен еще с XVIII в., очень долгое время он имелся только в виде жидкости. Впервые кристаллы глицерина были обнаружены в 1867 г. в бочке, привезенной из Вены в Лондон. Это внезапное зарождение глицеринового кристалла зависело от редкой комбинации движения, чисто случайно возникшей в этой бочке. С этих пор самопроизвольная кристаллизация глицерина наблюдалась всего два или три раза. Но кристаллы глицерина легко можно получить путем заражения жидкости уже готовым кристаллом. Таким образом, указывает автор, чистая случайность является важным созидательным фактором.

Первая случайно возникшая конфигурация живой материи должна была обладать свойствами фильтрующихся вирусов, т. е. должна была быть наделена способностью воспроизводить ту же самую конфигурацию. В дальнейшем эти центры химической активности дали начало для возникновения митохондрий, а затем и для образования бацилл.

Сам автор признает, что образование такой живой конфигурации, наделенной способностью к обмену веществ и самовоспроизведению, в результате случайной комбинации коллоидных мицелл, является чрезвычайно маловероятным. Но все же он считает такое образование возможным в течение астрономического периода времени. Однако сведение всего вопроса о возникновении жизни к простому случаю вряд ли может нас удовлетворить. Мы уже отмечали выше, что между кристаллом и простейшим живым существом имеется коренное различие. В кристалле мы имеем лишь статическую систему, основные свойства которой определяются структурой, пространственным расположением элементарных частиц вещества. Организация живой материи несравненно сложнее. Наиболее характерным для нее является ее приспособленность к несению определенных функций и прежде всего к обмену веществ. Само существование всей системы зависит от постоянно происходящих в процессе обмена ассимиляции и диссимиляции. Поэтому вся система живого вещества носит динамический характер. Потеря этой динамичности, остановка указанного процесса или изменение соотношения скоростей и направленности составляющих его реакций влечет за собой неминуемое разрушение системы как таковой, гибель организма. Случайно возникшая пространственная взаимориентация молекул и мицелл может нам объяснить возникновение кристаллических конфигураций и даже весьма сложных структур. Но такого рода построение ничего не дает нам для понимания той характерной для протоплазмы приспособленности организации живого вещества к несению определенных функций, к тому, что делает возможным целый ряд жизненных явлений.

По существу, Довилье (как и ряд других выше названных авторов) распространяет эволюционный принцип лишь на периоды, предшествующие появлению живых существ. В отношении же этого наиболее важного этапа в историческом развитии материи он остается на прежних механистических позициях Геккеля. Поэтому все те возражения, которые делались Геккелю и его последователям, сохраняют свою силу в отношении Довилье. Привлечь случай для объяснения возникновения живых существ равносильно отказу от объяснения этого явления. Удовлетворительной можно признать только ту теорию происхождения жизни, которая в достаточной степени рационально объяснит нам возникновение характерной для всех живых существ приспособленности внутренней организации протоплазмы к несению определенных жизненных функций.

Для того, чтобы понять, как возникла на Земле жизнь, необходимо не только проанализировать на основе современных научных данных отдельные этапы исторического развития материи, но и вскрыть те закономерности, которые последовательно возникали в процессе эволюции и которые определяют собой явление становления жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демокрит. Фрагменты (пер. А. Маковельского). 1929.
2. R. Descartes. Oeuvres philosophiques. Ed. Aime et Martin. Paris, 1838.
3. H. Bastian. The beginnings of life. London, 1872; Studies in heterogenesis. London, 1903.
4. E. Haeckel. Generale Morphologie der Organismen. Berlin, 1866.
5. E. Haeckel. Natürliche Schöpfungsgeschichte. Berlin, 1868.
6. F. Allen. What is life? Proc. of the Birmingham Natural History and Philosophical Society, v. 11, part. I. 1899.
7. H. Osborn. The Origin and evolution of life. London, 1918.
8. В. Омелянский. Основы микробиологии. 1922.
9. M. Traube. Zbl. med. Wiss., 609, 1864; 97, 113, 1866; Arch. f. Physiol., 87, 129, 1867.
10. O. Bütschli. Untersuchungen über mikroskopische Schäume und das Protoplasma. Leipzig, 1892.
11. Rumbler. Ergebn. Anat. Entwicklungsgesch., 15. 1905.
12. S. Leduc. Les bases physiques de la vie. Paris, 1907; Theorie physico-chimique de la vie. Paris, 1910 (см. также Г. Боссе. От неживого к живому. Вологда, 1925).
13. Kuskuck. Lösung des Problems der Urzeugung. Leipzig, 1907.
14. W. Preyer. Die Hypothesen über den Ursprung des Lebens. Berlin, 1880.
15. С. Костычев. О появлении жизни на земле. Госиздат, 1921.
16. Гераклит Ефесский. Фрагменты (пер. В. Ниландера). 1910.
17. Т. Гомперц. Греческие мыслители, т. I, СПб, 1911.
18. Ламетри. Избранные сочинения (пер. с франц.) Москва, 1925.
19. А. Деборин. Книга для чтения по истории философии, т. II, стр. 77—85, 1925.
20. Д. Дидро. Мысли об объяснении природы. Избр. соч. т. I, стр. 124, 1926.
21. L. Oken. Lehrbuch der Naturphilosophie. Zürich, 1843.
22. I. Lamarck. Philosophie zoologique. Ed. Ch. Martin, 1873.

23. Fr. Darwin. Life and Letters of Ch. Darwin. London, 1887.
 24. Ф. Энгельс. Диалектика природы. Партиздат, 1933.
 25. E. Pflüger. Ueber die physiologische Verbrennung in den lebendigen Organismen. Pfl. Arch., Bd. 10, 1875.
 26. А. Шефер. Жизнь, ее природа, происхождение и сохранение. Популярно-научная библиотека. Госиздат, 1924.
 27. P. Besquerel. L'Astronomie. Bull. Soc. Astr. de France 393—417. 1924.
 28. Ch. Lipton. The Scientific Monthly, 19, 357, 1924.
 29. М. Гремяцкий. Как возникла и развилась жизнь на земле. «Красная Новь», стр. 78, 1923.
 30. Б. Личков. Происхождение и развитие жизни. Киев, Гос. Изд. Укр., 1923.
 31. Б. Завадовский. Происхождение жизни на земле. Партиздат, 1934.
 32. В. Сафонов. Случайно ли возникла жизнь на земле. Огиз, «Мол. Гвардия», 1931.
 33. А. Опарин. Происхождение жизни, «Московский рабочий», 1924.
 34. А. Кулябко. Происхождение жизни на земле. «Работ. просвещения», 1928.
 35. В. Комаров. Происхождение растений. Изд. Акад. Наук СССР, изд. пятое, 1936.
 36. R. Beutner. Life's Beginning on the Earth. London, 1939; R. Beutner. Biodynamica, 38; 1; 1938.
 37. А. Опарин. The Origin of Life, New York, 1938.
 38. A. Dauvillier. L'Astronomie. Bull. Soc. Astron. de France, 529, 1938, 145, 1939.
-

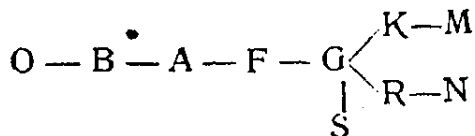
ГЛАВА IV

ПЕРВИЧНЫЕ ФОРМЫ УГЛЕРОДНЫХ И АЗОТИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Изучение того исторического процесса развития материи, который привел к возникновению жизни у нас на Земле, мы начнем с истории углерода и его первичных соединений. Каковы были те соединения, в виде которых углерод впервые появился на земной поверхности? Как мы видели в предыдущей главе, большинство авторов, работавших по вопросу о происхождении жизни, всегда исходило в своих построениях из углекислоты, как из первичного соединения углерода. Они считали, что углерод впервые появился на земной поверхности именно в виде такого полностью окисленного, не способного к дальнейшим химическим превращениям соединения. Это положение молчаливо принималось за аксиому и ничем в конечном счете не обосновывалось. Однако ряд астрономических и геологических фактов заставляет нас сильно сомневаться в его правильности.

Для того, чтобы составить известное представление о первичных формах углеродных соединений, возникших на нашей планете, мы должны прежде всего ознакомиться с теми соединениями углерода, которые мы встречаем на других небесных телах. Это позволит нам более обоснованно подойти к разрешению вопроса о превращениях углерода во время образования Земли и на первых стадиях развития нашей планеты.

Благодаря успехам спектроскопического исследования звезд (астроспектроскопии), мы в настоящее время имеем определенное представление не только о физическом состоянии этих светил, но и о химическом составе звездных атмосфер: Работами знаменитого Э. Пикеринга (1846—1919) и его школы было установлено разделение звезд на ряд типов согласно их спектрам. Эта общепринятая в настоящее время, так называемая гарвардская классификация [1] звезд может быть выражена следующей схемой:



Отдельные буквы схемы обозначают спектральные типы звезд. Звезды типа О выделяются среди других спектральных типов своей исключительной яркостью и большой массой. Это наиболее горячие звезды; даже на поверхности их температура достигает $20\,000\text{—}28\,000^\circ$. Исследованный Пласкеттом [2] спектр этих звезд является весьма сложным и далеко еще не разгаданным. Пласкетт обнаружил здесь ряд элементов, в частности водород, гелий, углерод, азот, кислород, магний и кремний частично в нейтральном, а, главным образом, в ионизированном состоянии.

Следующий тип В—голубовато-белые звезды. В их спектрах на первый план выступают линии гелия и затем водорода; линии металлов появляются лишь в наиболее холодных подклассах этого типа, установлено также наличие углерода в неионизированной форме. К этому замечательному типу принадлежат главным образом яркие звезды нашего млечного пути, в частности три ярких звезды, составляющие «пояс» в созвездии Ориона.

Тип А — белые или водородные звезды. В спектрах этих звезд господствуют так называемые балмеровские линии водорода; гелий исчезает, и на первый план постепенно выступают линии металлов, в частности натрия, магния, кальция, железа, хрома, стронция и др.

Звезды типа F (желтовато-белые) характеризуются очень интенсивными линиями кальция как в нейтральном, так и в ионизированном состоянии, линии водорода ослабевают, обращают на себя внимание G-полосы. Первые следы этих полос появляются уже в звездах предыдущего типа (А), но здесь они выявляются особенно ярко. Носителями этих полос являются углеводороды.

К следующему типу G (желтоватые звезды) принадлежит и наше Солнце. Эти звезды обладают значительно более низкой температурой поверхностных слоев ($6\,000\text{—}8\,000^\circ$), чем предыдущие спектральные типы. Их спектры испещрены многочисленными линиями металлов и являются весьма сложными. По вполне понятным причинам наиболее детально изучению подвергся спектр Солнца. К нему мы вернемся при дальнейшем изложении.

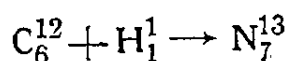
Еще более низкими температурами обладают типы звезд, обозначенные в правой части схемы. Сюда прежде всего относятся типы К и М. Первый характеризуется очень сложным спектром многих металлов, очень резко выступает углеводородная полоса G, фиолетовая часть спектра несколько ослаблена. В типе М выступают спектральные полосы, знаменующие собой возникновение целого ряда химических соединений. Температура поверхности этих звезд лежит около $4\,000^\circ$.

Несколько особняком стоят красные звезды типа S, характеризующиеся сложным абсорбционным и эмиссионным спектром с значительным преобладанием полос.

Наконец, два последних типа R и N представляют собой темно-красные звезды с наиболее низкой температурой. Температура их поверхности, повидимому, может снижаться до $1\,800^\circ$, что сильно затрудняет исследование этих звезд. Их спектры также изобилуют абсорбционными полосами, указывающими на наличие ряда химических соединений, в частности большой интерес представляют соединения углерода, на которых мы остановимся несколько позднее.

Эта первоначально эмпирически установленная спектральная схема, как выяснилось в настоящее время, имеет очень глубокий физический смысл, так как она приблизительно соответствует природной последовательности тепловой ионизации, которая является физической причиной различных спектральных явлений. Дело в том, что звездные спектры определяются не только присутствием того или иного элемента на поверхности этих светил, но и состоянием этих элементов, в особенности степенью их ионизации. Таким образом, казавшееся раньше резким различие в химическом составе звезд ныне объясняется различной термодинамической обстановкой поверхностных зон этих светил. Для нас в данном случае важно, что эта схема отображает собой постепенное понижение температур небесных тел. В левой части схемы мы имеем звезды с наивысшими температурами поверхности. Эти температуры постепенно понижаются при переходе от левой к правой части схемы. Вместе с тем этот ряд до известной степени отображает собою последовательную эволюцию звезды во второй период ее существования (когда звезда, согласно обозначению Герцшпрунга, обратилась уже в «карлика») [3].

Благодаря многочисленным исследованиям целого ряда астрофизиков в настоящее время установлено присутствие интересующего нас элемента — углерода в атмосферах всех известных нам звезд. Мало того, за последнее время накапливается все больше фактов, показывающих, что углерод играет исключительно важную роль в жизни звезд. Недавно Г. Бете [4] развил представления, согласно которым источником звездной энергии являются определенные внутриатомные ядерные реакции, происходящие в недрах звезд, где царит температура в несколько десятков миллионов градусов. При этих условиях происходит превращение водорода в гелий, что связано с уменьшением массы, а следовательно с выделением громадного количества внутриатомной энергии. Но, согласно Г. Бете, такого рода превращение может идти лишь в присутствии углерода, который играет здесь роль как бы своеобразного «катализатора» этой ядерной реакции. Сначала углеродное ядро от столкновения с протоном (ядром атома водорода) превращается в неустойчивое ядро азота согласно уравнению.



Ядро азота N_7^{13} путем последовательных присоединений протона и выделений позитрона превращается в ядро N_7^{15} , которое от столкновения с протоном распадается на первоначальное углеродное ядро и α -частицу (ядро атома гелия):



Таким образом, согласно этой гипотезе, самое свечение звезд связано с присутствием на них углерода.

Для нас представляет особый интерес проследить, в каком виде проявляется углерод в разных спектральных типах звезд.

В обладающих наивысшей температурой О-звездах углерод был обнаружен Пласскеттом главным образом в одно- и двукратноионизированном состоянии. Здесь температура поверхности еще настолько высока, что не может быть и речи о каких-либо химических соединениях углерода. Даже самый атом этого элемента подвергается существенному изменению (ионизации), теряет свои внешние электроны.

В следующем более холодном типе (20 000—15 000°) Генрото и Гендерсон [5] также отмечают присутствие углерода, но уже в нейтральном состоянии. Однако и здесь никаких химических соединений существовать, повидимому, еще не может. Признаки этих соединений появляются в спектре типа А. Здесь в наиболее поздних (наиболее холодных подклассах) впервые были обнаружены следы G-полосы (λ 4314), указывающие на возможность возникновения на звездах этого типа первичных углеродных соединений — углеводородов [6]. В последующих более холодных подклассах звезд углеводородные полосы появляются все с большей и большей отчетливостью по мере падения температуры звездной поверхности и достигают своей максимальной отчетливости в М и R-классах. На ряду с этим в спектрах F—G—K—M—R и N-звезд обнаруживаются полосы циана. Очень большой интерес представляет появление в спектрах того же типа так называемых свановских полос [7]. Их можно обнаружить как в спектре солнечных пятен, так и в особенности в спектрах звезд типа N и R. Носителем этих полос в прежние время неправильно считалась окись углерода (CO). Однако сравнительно недавно Патти удалось на основании изучения спектроскопических полос с большой долей вероятности установить то положение, что свановский спектр обуславливается C_2 -молекулой. Фон Клубер [8], основываясь на данных квантовой теории, приходит к тому же заключению; он считает вполне достоверным, что носителем свановского спектра является именно молекула типа C_2 , так как «в линии полос наблюдалась та альтернативная последовательность интенсивности, которая требуется симметрией молекул, состоящих из двух равных атомов».

Особенный интерес представляют для нас, конечно, те сое-

динения углерода, которые находятся в атмосфере Солнца. Солнце принадлежит к желтым звездам типа G. Температура солнечной атмосферы определяется в $5800\text{—}6300^\circ$, в верхних слоях она падает до 5000° , а в наиболее глубоких доступных нашему непосредственному исследованию подымается до 7000° . Спектроскопические исследования показывают, что значительная часть углерода находится здесь в виде его соединения с водородом (СН-метин) [9]. На ряду с этим в атмосфере Солнца можно установить присутствие циана [10]. Наконец, в спектре солнечных пятен (температура 4700°) уже сравнительно давно были обнаружены свановские полосы. Наличие молекулы C_2 (дикарбона) в атмосфере Солнца интересно для нас с той точки зрения, что оно показывает исключительную способность углеродных атомов ассоциироваться между собой даже при тех чудовищных температурах, которые царят на поверхности Солнца.

Таблица 1

Типы соединений углерода при разных температурах звезд

Типы звезд	Абсолютные температуры	Соединения углерода
O	$25\,000^\circ$	C^{++} ; C^+ ; C
B	$20\,000\text{—}15\,000^\circ$	C
A	$12\,000^\circ$	C; СН (следы)
G	$8\,000^\circ$	C_2 ; СН; CN
M	$4\,000^\circ$	C_2 ; CN; СН (очень интенсивные полосы)
N	$2\,000^\circ$	$C^{12}\text{—}C^{12}$; $C^{12}\text{—}C^{13}$; $C^{12}\text{—}C^{14}$; CN; СН

Такии образом, мы видим, что уже при сравнительно очень высоких температурах звездной поверхности атомы углерода начинают вступать в соединения, но эти соединения бывают только трех типов: или углеродные атомы соединяются между собой, образуя молекулы типа C_2 (дикарбон) или они соединяются с азотом, давая циан (CN), или, наконец, они образуют водородные соединения СН (метин) (см. табл. 1).

Фон Клюббер [8], подвергший подробному анализу все данные о химическом составе звездных атмосфер в своей книге «Распространение химических элементов в космосе» («Das Vorkommen der chemischen Elemente in Kosmos»), особенно подчеркивает отсутствие на поверхности как Солнца, так и других звезд каких-либо кислородных соединений углерода, в частности СО, несмотря на то, что здесь легко уже могут быть обнаружены окиси металлов (ВО, АlО, TiО, ZrО) и даже ОН. «Очень часто цитируемая в литературе СО, — пишет он, — до сих пор не была доказана и является также невероятной и для более поздних типов (звезд). Предположение об ее присутствии на самом деле покоится на ошибочном истолковании свановского спектра, который в действительности обусловлен молекулой C_2 ».

С полной определенностью наличие окиси углерода удалось

констатировать лишь в кометах, — и то не в их ядре, а в отбрасываемом ими хвосте. Однако вещества, образующие хвосты комет, возникают в результате вторичных изменений, и поэтому представляют для нас меньший интерес, чем вещества, входящие в состав кометного ядра.

Сейчас уже весьма определенно вырисовывается связь комет с потоками падающих звезд и метеоритами. Возможно даже, что кометы возникают в результате соударений метеоритов с астероидами, причем образуется много пыли и газа. Поэтому ядра комет представляют собой скопление твердых частиц: обломков и космической пыли, окруженных газовым слоем. Их свечение вызывается главным образом электронными явлениями, но, по крайней мере отчасти, оно также обусловлено нагреванием, возникающим при приближении кометы к Солнцу. Выделяемые при этом газообразные частицы и частицы пыли отбрасываются назад световым давлением Солнца, образуя хвост кометы. Спектроскопические исследования ядра и хвоста кометы обнаруживают резкое различие химического состава этих двух образований. И это вполне понятно, так как спектр ядра до известной степени дает нам представление о тех соединениях, которые первично создались в материале, образовавшем кометы. Напротив, соединения, обнаруживаемые в хвосте кометы, являются результатом вторичных изменений и химических преобразований, возникающих при приближении кометы к Солнцу. Характер этих изменений, конечно, должен быть глубоко отличен от тех превращений, которые испытывали вещества кометы во время ее первичного образования. В ядре комет, как и на вышеприведенных небесных телах мы находим дикарбон C_2 , циан и углеводороды [11]. Напротив, в хвосте комет наряду с дикарбоном можно установить наличие окиси углерода в ионизированном состоянии (CO^+ (Ф. Бальде) [12]. Таким образом, здесь мы впервые встречаемся с кислородным соединением углерода, но вторичный характер этого образования в хвосте кометы является совершенно очевидным.

Гораздо более сложно изучение химического состава планет нашей солнечной системы. Как известно, эти небесные тела светятся лишь отраженным светом Солнца, и уже это одно в значительной степени усложняет их спектроскопическое исследование. На ряду с этим приходится считаться с тем, что многие вещества, присутствие которых мы можем предполагать в планетной атмосфере, не показывают избирательного поглощения в тех областях спектра, которые доступны нашему изучению. Сюда можно отнести водород, азот, гелий, неон и аргон. Кроме того, газы земной атмосферы поглощают значительную часть спектра. Так, например, озон, несмотря на то, что он присутствует лишь в очень малых количествах в высоких слоях атмосферы, срезает весь спектр около 2900 \AA и лишает нас возможности изучать наиболее интересную часть планетного спек-

ра. Наконец, и это самое главное, при анализе полученных спектров все время приходится учитывать то поглощение, которое осуществляется газами нашей земной атмосферы. Это последнее затруднение в настоящее время обычно обходят путем сравнения спектра исследуемой планеты со спектром Луны, совершенно лишенной атмосферы. Но при этом наблюдения могут считаться достаточно точными только в том случае, когда планета и Луна могут быть видимы вместе на равных высотах и когда исследование ведется почти одновременно и одним и тем же инструментом. Другой метод состоит в применении принципа Допплера и сводится к изучению смещения линий при наблюдении планет в тот период, когда они быстро приближаются или удаляются от нас. Этот, весьма тонкий метод в последнее время дал возможность получить очень интересные результаты.

Несмотря на все трудности исследования, мы располагаем сейчас уже некоторым запасом сведений по вопросу о химическом составе планетных атмосфер. Эти данные недавно были сведены Г. Ресселем в его прекрасной книге «The Solar System and its origin» (Солнечная система и ее происхождение) [13]. Ближайшая к солнцу планета Меркурий может быть во многих отношениях сравниваема с нашим спутником Луной. Поверхность Меркурия состоит из темных горных пород. Если здесь и присутствует атмосфера, то она чрезвычайно тонка и не обнаруживает никаких признаков конденсации. В противоположность этому Венера обладает несомненной атмосферой с густыми облаками, плотно закрывающими от нас ее действительную поверхность. Все попытки обнаружить в атмосфере Венеры кислород или воду оказались тщетными. Но зато Адамсу и Донгэму в 1932 г. с несомненностью удалось установить присутствие здесь углекислоты в довольно значительных количествах.

В сравнительно тонкой атмосфере Марса, можно, напротив, доказать присутствие воды и некоторого (правда, очень небольшого) количества кислорода. Вильдт предполагает, что кислород здесь находится главным образом в форме озона, образовавшегося в результате действия ультрафиолетовых лучей. Углекислота здесь не обнаружена. Наличие кислорода заставляет предполагать, что на Марсе имеется растительность. Сезонные изменения темных областей на поверхности этой планеты также интерпретируются многими авторами как изменения растительного покрова. Таким образом, здесь углерод предполагается в форме органических соединений. Однако в этом отношении имеется еще сравнительно очень мало данных, чтобы делать какие-либо определенные заключения.

Чрезвычайно интересными с разбираемой нами точки зрения являются результаты исследований атмосферы больших планет. Присутствие атмосферы на Юпитере было установлено уже давно простыми телескопическими наблюдениями. Быстрое из-

менение пятен на поверхности Юпитера может быть объяснено только облаками, легко образующимися и испаряющимися в атмосфере этой планеты. Несколько позднее то же самое было установлено и для Сатурна, а затем и для других больших планет. Однако спектроскопическое исследование этих планет долгое время не приводило к каким-либо определенным результатам. Наблюдавшиеся в спектре этих планет полосы оставались загадочными и не могли быть отождествлены со спектрами каких-либо известных нам газов. Только в 1932 г. молодой немецкий физик Р. Вильдт правильно подошел к разрешению этой проблемы. Вильдт показал, что некоторые полосы в спектре Юпитера согласуются с полосами аммиака, а другие — с полосами метана. Вскоре это было подтверждено Донгэмом, который также нашел полное совпадение тщательно измеренных индивидуальных линий этих полос. Для аммиака было найдено совпадение более чем 60 линий, для метана 18 линий в части одной полосы. Наконец, в 1934 г. Аделю и Слайферу [14] удалось отождествить все полосы, характерные для метана. Таким образом, в атмосфере Юпитера можно считать совершенно доказанным наличие аммиака и метана. Попытки обнаружить здесь присутствие других углеводородов, — в частности этана, этилена и ацетилена — дали отрицательные результаты. Это, однако, объясняется главным образом низкой температурой, господствующей на поверхности Юпитера (-135°). Как видно из прилагаемой таблицы, все перечисленные углеводороды кипят (при обычном атмосферном давлении в 760 мм) значительно выше

Таблица 2

Название соединения	Точка кипения при 760 мм (в $^{\circ}\text{C}$)
Метан (CH_4)	— 165
Этан (C_2H_6)	— 95
Этилен (C_2H_4)	— 103
Ацетилен (C_2H_2)	— 85

этой температуры, и лишь метан может находиться в газообразном состоянии.

В своей работе Адель и Слайфер говорят по этому поводу следующее: „таким образом, мы приходим к заключению, что другие углеводороды, если они вообще присутствуют в атмосферах больших планет, должны существовать только в очень

небольших количествах по отношению к присутствующему метану. Вероятно, эти углеводороды, как и многие другие, находятся в нижних слоях атмосферы больших планет. Свободное движение большого красного пятна на Юпитере заставляет предполагать, что это остров тяжелых углеводородов или аммиака, плавающий в обширном углеводородном океане, таком же обширном, как сама поверхность планеты».

Сатурн, подобно Юпитеру, также окутан мощной атмосферой из паров метана и аммиака. Но вследствие большой удаленности этой планеты от Солнца, температура ее поверхности

должна быть еще ниже, чем на Юпитере. Поэтому здесь уже значительная часть аммиака должна перейти в твердое состояние, что и находит свое отражение в спектре Сатурна, где метановые полосы выступают весьма ярко. Уран и Нептун, находясь еще дальше от Солнца, обладают еще более низкой температурой. Аммиак из их атмосфер должен уже совершенно вымерзнуть. Этим объясняется необычайная сила метановых полос в спектре этих планет. Сам метан должен быть почти готов к сжиганию на Нептуне, несмотря на очень низкую температуру кипения этого соединения. Таким образом, на всех больших планетах мы находим углерод в форме его соединения с водородом.

Совершенно особый исключительный интерес для разрешения разбираемого нами вопроса представляет изучение метеоритов. Это обусловлено прежде всего тем, что упавшие на Землю метеориты могут быть подвергнуты непосредственному химическому анализу и даже минералогическому исследованию. Это единственные «неземные» тела, состав которых может быть установлен с исключительной полнотой и надежностью. Кроме того, изучение метеоритов все более и более убеждает нас в том, что они являются кусками, обломками небесных тел, весьма родственных по своему составу нашей планете — Земле.

На это родство метеоритов и нашей планеты уже давно было обращено внимание ученых. Многие выдающиеся современные геохимики (Клярк, Вашингтон, Гольдшмидт, Н. и В. Ноддак и др.) исследовали строение и состав метеоритов именно с этой точки зрения. А. Ферсман в своей «Геохимии» [15] дает обширную сводку этих исследований. Он указывает на громадное значение, которое имеет изучение метеоритов в деле разрешения геохимических проблем. «Может быть, — пишет он, — впервые сейчас мы начинаем понимать, какую огромную роль приобретает продуманный и углубленный анализ метеоритов не только для определения состава Земли, но и для выяснения тех законов отклонения состава земной коры от состава Земли в целом, которые необходимы для ясного понимания общего количества элементов в доступной нам земной коре».

Далее он приводит целый ряд сравнительных анализов метеоритов и различных земных пород. Эти данные выявляют действительно поразительное сходство среднего весового состава Земли и среднего состава метеоритов, сходство, которое не может быть случайным. Все это приводит А. Ферсмана к совершенно определенному заключению, «что метеориты, в общем, как по характеру своих элементов, так и по принципу строения атомов, совершенно тождественны с элементами наиболее глубоких зон земной коры и, по всей вероятности, еще ближе отвечают составу центральной части нашей планеты». При этом каменные метеориты соответствуют глубинным перидотитовым породам, а металлические — центральному ядру Зем-

ли. Это положение Ферсмана не только полностью подтвердилось рядом позднейших исследований, но в недавнее время получило солидное теоретическое обоснование, согласно которому указанное сходство является выражением равновесия внутриатомных ядерных реакций. Понятно поэтому, как много может дать изучение состава и строения метеоритов для разрешения вопроса о формах первичных соединений, возникших при образованиях нашей планеты.

Среди метеоритов различают по составу две главных группы: железные (металлические) и каменные. Первые в основном состоят из так называемого никелевого железа, содержащего в себе более 90% железа, до 8% никеля, около 0,5% кобальта и некоторое количество фосфора, серы, меди и хрома. В них всегда присутствует углерод в количестве около 0,1%, но в некоторых случаях содержание этого элемента является гораздо более высоким. В каменных метеоритах процент железа значительно меньше (около 25%). Здесь присутствует большое количество окисей разнообразных металлов, в частности магния, алюминия, кальция, натрия, марганца и др. Большое значение имеет также SiO_2 ; содержание углерода в среднем выражается цифрой 0,15% [16].

Весьма вероятно, что источников происхождения метеоритов несколько. Некоторые из них, несомненно, искони принадлежат к нашей солнечной системе и в ней образовались, другие возникли в разное время за пределами нашей системы в самых различных уголках Галактики. Однако Прайор доказал общность магматического происхождения как тех, так и других. Метеориты, без сомнения, представляют собой куски плутонических горных пород, образовавшиеся в результате каких-то катастрофических процессов. И. Астапович [17] в своей сводке о космической природе метеорных тел пишет по этому поводу следующее: «Метеоритов встречается с нашей солнечной системой достаточно много; характер их — обломочный (возможно, что они осколки осколков более крупных тел), поэтому приходится заключить о том, что катастрофы, которые, возможно, порождают метеориты, происходили, а, вероятно, и сейчас происходят постоянно и притом в большом сравнительно числе».

Согласно указаниям В. Вернадского, А. Ферсмана, Ф. Левинсон-Лессинга и других, в метеоритах нет ничего, что напоминало бы осадочные породы, или что, вообще, было бы связано с водой и проявлением биологических процессов. Минералогическое изучение метеоритов показывает, что они сложились при определенно выраженном недостатке кислорода. Это особенно характерно для железных метеоритов, в составе которых мы находим даже фосфор в свободном неокисленном состоянии. Каменные метеориты, судя по их кристаллизации, застывали катастрофически быстро, причем застывание происходило в очень слабом поле тяготения. В связи с этим легкие

и благородные газы встречаются в метеоритах в исключительно малых дозах.

Интересующий нас элемент (углерод) присутствует, как мы видели, почти во всех без исключения метеоритах. Прежде всего, его можно здесь открыть в самородном виде как в аморфной форме, так и в форме графита или алмаза. Элементарный углерод метеоритов несомненно генетически связан с находящимися здесь карбидами железа. Так называемые углеродные метеориты нередко содержат в себе до 2—4,5% аморфного угля. Графит в заметных количествах был открыт только в железных метеоритах в форме клубочков, пластинок и зернышек, иногда достигающих значительной величины до 12 г. Ерофееву и Лачинову из метеоритов, упавших в 1886 г. около деревни Ново-Урей Пензенской губ., удалось выделить около 1% углерода в виде алмазов. Позднее Футе и Кениг из метеоритов, выпавших в каньоне Дьябло в Оризоне, получили алмазную пыль, что было подтверждено последующими анализами Кунца, Хунтингтона и других. Вейншенк тоже нашел алмазы в Магюра-метеоритах [18].

Тот же автор в 1889 г. впервые открыл весьма распространенный и характерный для метеоритов минерал — когенит, который представляет собой карбид железа, никеля и кобальта с суммарной формулой $(\text{FeNiCo})_3\text{C}$. Образование такого рода карбидов железа и других металлов в метеоритах вполне понятно, так как эти соединения легко образуются при высоких температурах и очень устойчивы в этих условиях.

Из других соединений, в которых углерод встречается в метеоритах, нужно указать на углеводороды. Еще в 1857 г. Веллеру удалось из каменистого метеорита, выпавшего в Венгрии близ Кабы, выделить некоторое количество органического вещества, похожего на озокерит. Анализ этого вещества показал, что оно действительно представляет собой высокомолекулярный углеводород. Подобное же вещество было выделено из метеоритов, выпавших в Капской земле в Кольдбоккефельде. Этот метеорит содержал до 0,25% углеводородов. Меликов и Кржижановский [19] нашли позднее небольшое количество углеводородов в силикатном метеорите, выпавшем в 1889 г. в с. Мигае Елизаветградского у. Херсонской губ. (теперь Кировоградская обл.). Фон-Клюбер указывает на ряд случаев нахождения углеводородов в метеоритах. В частности в метеоритах Нагая и Аланса американскому химику Смитсу удалось выделить соединение состава $\text{C}_4\text{H}_{12}\text{S}_5$. В Оргейе и Хесле было найдено соединение с формулой $\text{C}_8\text{H}_9\text{O}_2$.

В то время, когда впервые был установлен факт нахождения углеводородов в метеоритах, еще существовало прочное убеждение, что органические вещества (а следовательно, и углеводороды) в естественных условиях могут образоваться только в живой клетке. Поэтому многие ученые нередко вы-

сказывали предположение, что описанные углеводороды метеоритов образовались вторично путем разложения организмов, живших когда-то на этих небесных телах. Но все многочисленные попытки обнаружить какие-либо признаки органической жизни на метеоритах сказались тщетными, и в настоящее время мы должны считать вполне доказанным факт «полного отсутствия на метеоритах осадочных, гидатогенных образований и образований биохимического характера» [20]. Следовательно, углеводороды метеоритов так же, как и углеводороды других описанных нами выше небесных тел возникли первично, т. е. вне какой-либо связи с органической жизнью.

Подводя итоги всему сказанному, следует отметить, что почти на всех небесных телах, в атмосфере звезд, в частности нашего Солнца, в ядрах комет, в атмосфере больших планет и, наконец, в метеоритах мы находим углерод или в его самородной форме, или в форме соединений с азотом (CN), или главным образом — с водородом. Исключение представляет только Земля и ближайшая к ней планета Венера, в атмосфере которых углерод находится в окисленной форме в виде CO_2 .

Углекислота современной земной атмосферы имеет явно вторичное происхождение. Значительная ее часть непосредственно связана с жизнедеятельностью живых организмов (дыханием, брожением). Но даже та углекислота, которая в огромных количествах выделяется во время вулканических извержений и в потухших вулканических областях, не является первичной, а происходит вследствие разложения ранее образовавшихся карбонатов благодаря высокой температуре глубинных слоев земной коры и плавлению метаморфических пород. В. Вернадский [21] в «Очерках геохимии» указывает, что угольная кислота вулканов и терм «ювенильна» только в том смысле, «что она происходит из ювенильных областей (глубоких слоев коры или магматических очагов), но ее конечное происхождение, в сущности, вадозное или фреатическое¹, как это доказал Р. Делькескамп для терм». Далее Вернадский отмечает, что первичным ювенильным минералом можно сейчас признать не углекислоту, а чистый углерод. В качестве первичного соединения углерода можно также рассматривать металлические карбиды — когениты, минералы, характерные для метеоритов, но которые были найдены и на Земле, в частности в базальтах острова Диско и других островов Западной Гренландии [22]. Что касается Венеры, то наши сведения еще слишком ограничены для того, чтобы дать какое-либо определенное заключение относительно происхождения содержащейся в ее атмосфере углекислоты. Но по аналогии с Землей мы и здесь,

¹ Обозначение «вадозные» Вернадский употребляет для элементов и минералов, а также для процессов, встречающихся и происходящих в биосфере, а «фреатические» — для соответствующих явлений, происходящих в стратиффере и в верхних метаморфических геосферах.

скорее, должны считать происхождение этого соединения вторичным.

В противоположность этому не подлежит никакому сомнению первичное возникновение углеводородов в атмосферах звезд, в ядрах комет, в атмосферах больших планет и, наконец, в метеоритах. Вся совокупность астрономических и геохимических фактов убеждает нас в том, что при возникновении нашей планеты углерод появился на ней в форме тех же соединений, которые мы и сейчас наблюдаем на перечисленных небесных телах.

В настоящее время мы переживаем кризис представлений о происхождении нашей планетной системы. Еще сравнительно недавно общепринятой являлась теория Джинса-Джеффриса [23]. В общих чертах эта теория сводится к следующему. Примерно два-три миллиарда лет тому назад нормальный ход развития Солнца был нарушен катастрофой. В то время к нашему светилу стало приближаться небесное тело, — звезда, по своей массе равная или даже превышающая массу Солнца. Подобно тому, как, вследствие притяжения Луны на Земле, происходят приливы океана, так и приближающаяся звезда вызвала грандиозный прилив в огненной солнечной атмосфере. Непосредственно под звездой солнечная атмосфера вытянулась в форме мощной волны высотой во много тысяч километров. По мере приближения звезды к Солнцу эта приливная волна продолжала расти в высоту. Наконец наступил такой момент, когда притяжение звезды преодолело притяжение Солнца, вершина волны оторвалась от Солнца и устремилась к мимо проходящей звезде. Понятно, что такой разрыв поверхности светила мог произойти только в том случае, когда приближающееся тело подошло к Солнцу чрезвычайно близко.

Точные вычисления показывают, что в том случае, если масса звезды была равна массе Солнца, критическое расстояние между этими телами должно было составлять всего 2.5 радиуса Солнца. Если масса звезды была больше массы Солнца, то это расстояние, конечно, могло быть несколько более значительным. Во всяком случае, согласно представлениям Джинса, звезда должна была почти столкнуться с Солнцем. Последствия такого «полустолкновения» рисуются автору разбираемой теории в следующем виде: отрыв вершины волны, образовавшейся на поверхности Солнца, уменьшил давление на более низкие ее части, в результате чего целый поток вещества устремился от Солнца к звезде. Если бы оба светила продолжали и дальше приближаться друг к другу, то они бы в конечном счете слились между собой. Но звезда не направлялась прямо к Солнцу, а подойдя к нему на указанное критическое расстояние, не столкнулась с ним, а прошла мимо. По мере того, как она удалялась, ее приливное действие уменьшалось. Вещества уже более не вырывались с поверхности Солнца, а та

струя, которая выделялась раньше, образовала длинную нить горячего тумана, висящего в пространстве и увлекаемого Солнцем. Форма этой нити напоминала сигару, заостренную с обоих концов. Наиболее удаленный от Солнца тонкий конец туманности был сначала верхушкой описанной нами приливной волны. Толстая середина образовалась в то время, когда проходившая мимо Солнца звезда находилась в «критической зоне». И, наконец, ближайший к Солнцу заостренный конец образовался уже тогда, когда приливное действие стало сильно ослабевать.

Масса нашей туманности и сила взаимного тяготения составляющих ее частиц являлись достаточно значительными для того, чтобы сравнительно скоро струя газа разорвалась на отдельные сгущения. Уже при сравнительно высоких температурах внутри газовых масс должны были образоваться капли расплавленных металлов и лавы, которые падали по направлению к центрам скопления, образуя первоначальное литое ядро планеты [24]. Там, где масса газов была наиболее мощной, — в середине газообразной туманности — возникали и более мощные скопления вещества. Этим можно объяснить тот факт, что самые большие планеты нашей системы — Юпитер и Сатурн — занимают середину планетного ряда. Несколько дальше от Солнца расположены планеты меньших размеров — Уран и Нептун. И точно так же ближе к Солнцу располагаются относительно малые планеты — Марс, Земля и Венера. Наконец, самая маленькая планета Меркурий и недавно открытый Плутон находятся — первый на наиболее близком, второй — на наиболее далеком расстоянии от Солнца. Они возникли из тонких концов нашей сигарообразной туманности. Таким образом, согласно изложенной теории, как наша Земля, так и все остальные планеты образовались из веществ, входящих в состав солнечной атмосферы.

В 1935 г. Рессель [13] подверг эту теорию Джинса сокрушительной критике. Путем сравнительно простых вычислений он показал, что эта теория не может достаточно рационально объяснить тот орбитальный момент количества движения планет на единицу массы, который мы наблюдаем в настоящее время. Взамен теории Джинса Рессель выдвинул свою гипотезу, согласно которой Солнце во время прохождения мимо него звезды представляло собой двойную звезду. Малый компонент этой системы был разбит на отдельные массы — планеты путем столкновения или близкой встречи с проходящей звездой. Позднее эту гипотезу в несколько видоизмененном и более детально разработанном виде поддерживал Р. Литтлтон [25].

Однако все изложенные представления встречаются в настоящее время очень серьезные возражения. Главнейшее из них состоит в том, что вероятность описанной встречи двух звезд очень мала, и поэтому планетные системы должны представлять собой исключительно редкие явления в мире звезд. Одна-

ко, согласно работам Холмберга [26], примерно 25% всех обследованных им звезд наделены невидимыми спутниками малой массы. Поэтому многие астрономы склоняются сейчас к мысли, что мы должны искать способов построения солнечной системы из одиночного первоначально Солнца, с поверхности которого была выброшена струя газовой материи, разбившаяся затем на отдельные сгустки — планеты [27].

Таким образом, в настоящее время для нас еще неясен тот механизм, в результате которого от Солнца отделилась газовая струя, послужившая материалом для образования планет. Но то, что планеты действительно образовались из газового сгустка, оторвавшегося от поверхности Солнца, не подлежит никакому сомнению.

Произведенные Рошем и Джинсом вычисления с несомненностью показывают, что Солнце и окружающие его планеты не могли образоваться из разреженной газовой туманности, как это думал Лаплас. Малая плотность газа не позволила бы в этом случае образоваться устойчивым сгусткам материи порядка планетных масс. С другой стороны, Рессель также категорически отвергает возможность образования планет путем постепенного приращивания малых тел (типа метеоритов), так как тогда планеты должны были бы быть лишены всех легких газов, и их состав и плотность должны были бы быть совершенно иными, чем мы их наблюдаем фактически.

Все эти соображения и расчеты показывают, что планеты могли возникнуть только из газовых сгустков, плотность которых была не ниже плотности солнечной атмосферы. При этом очень быстро в центре сгустка должно было образоваться массивное ядро, около которого и происходило формирование всего остального вещества планеты. Весьма существенным доказательством в пользу происхождения планет и в частности нашей Земли от солнечной атмосферы является поразительное сходство химического состава этих образований. Благодаря многочисленным спектроскопическим исследованиям Солнца, в особенности благодаря классическим работам Роуланда и исследованиям знаменитой Калифорнийской обсерватории на Монт-Вильсон [28], мы в настоящее время имеем довольно отчетливое представление о химическом составе этой атмосферы. Ниже приводится сравнительная таблица состава солнечной атмосферы, земной коры и каменных метеоритов, вычисленная Клюббером в некоторых условных, но вполне сравнимых величинах (в $\log. Q$).

Основываясь на анализе приводимых цифр, Клуббер приходит к заключению о хорошем совпадении состава Солнца и земной коры. К тому же выводу приходит и Рессель на основании тщательного разбора тех весьма обширных данных, которыми мы в настоящее время располагаем о составе солнечной атмосферы и составе Земли. «Трудно найти хотя бы один случай,—

Сравнительный анализ состава Солнца (по $\log Q$)

Порядковый № элемента	Элемент	Солнечная атмосфера	Земная кора	Каменные метеориты
--------------------------	---------	------------------------	----------------	-----------------------

Металлы

11	Натрий	8.6	8.7	7.8
12	Магний	9.2	8.6	9.1
13	Алюминий	7.8	9.2	8.2
14	Кремний	8.8	9.7	9.3
19	Калий	8.4	8.7	7.2
20	Кальций	8.3	8.8	8.1
21	Скандий	5.3	3.0	—
22	Титан	6.9	8.1	7.0
23	Ванадий	6.7	6.9	—
24	Хром	7.4	7.1	7.5
25	Марганец	7.6	7.3	7.3
26	Железо	9.0	9.0	9.4
27	Кобальт	7.4	5.8	7.1
28	Никель	7.8	6.8	8.2
29	Медь	6.8	6.3	6.2
30	Цинк	6.7	5.9	—

Металлоиды

1	Водород	11.5	8.3	6.9
6	Углерод	8.5	7.4	7.2
7	Азот	8.7	6.8	—
8	Кислород	10.2	9.7	9.6
9	Фтор	—	6.8	—
15	Фосфор	—	7.4	7.0
16	Сера	7.2	7.3	8.3
17	Хлор	—	7.7	6.9

пишет он, — когда бы мы могли быть уверены, что данный металл присутствует на Солнце в большем или меньшем количестве, чем на Земле». Это поразительное сходство могло явиться лишь результатом того, что материалом для образования нашей планеты послужило вещество солнечной атмосферы.

Правда, Земля содержит в своем составе значительно меньшие количества водорода, азота, гелия и неона, чем это имеет место в атмосфере Солнца. Но указанное различие находит свое полное объяснение в том рассеянии (испарении) этих газов, которое обязательно должно было происходить при формировании нашей планеты из газового сгустка.

Каждая частица газа, входящая в состав формирующейся планеты, должна находиться под воздействием двух противоположных сил. С одной стороны, вследствие того быстрого движения, которым наделены частицы газа при высокой температуре, они стремятся улететь от планеты, рассеяться в пустом пространстве вселенной. Но на ряду с этой центробежной силой

имеются и обратные ей центростремительные силы. Это прежде всего сила тяжести, которая удерживает частицы газа и притягивает их к центру планеты. Величина этой силы зависит как от молекулярного веса газовой частицы, так и от величины той планеты, на которой она находится. Так, например, для того, чтобы частица газа оторвалась от Земли, она должна обладать скоростью 11.2 км в секунду. Для Луны, вследствие ее малого размера, эта скорость удаления частицы газа равняется всего 2.4 км в секунду.

Скорость водородной молекулы при 0° равняется 1.84 км в секунду, но с повышением температуры эта скорость чрезвычайно быстро нарастает. Поэтому Луна, на которой в середине ее дня наблюдается температура в 120°, не может удержать на своей поверхности не только водорода, но даже и более тяжелых газов, как, например, кислород и азот. При тех же температурах, которые имели место в прошлом, Луна вообще должна была остаться без атмосферы, что мы сейчас и наблюдаем.

Нечто аналогичное мы наблюдаем и на Меркурии, размер которого очень невелик, а температура, вследствие близости к Солнцу, сравнительно очень высока. Даже сейчас на освещенной стороне планеты она достигает 400°. В результате этого Меркурий еще в очень ранней стадии своего существования должен был растерять значительное количество своих легких элементов, и в настоящее время он представляется нам голой скалистой глыбой, почти совершенно лишенной газовой оболочки.

Совершенно обратное соотношение сил имело место на Юпитере и на других больших планетах. Здесь сила тяжести в значительной степени превосходила силы, стремящиеся рассеять газовые частицы в пустом межпланетном пространстве. Поэтому названные планеты сохранили в целости и неприкосновенности все элементы, которые они получили от Солнца. Этим и объясняется весьма малый удельный вес Юпитера и Сатурна: 1.34 (Юпитер) и 0.71 (Сатурн), тогда как Земля обладает плотностью, в 5.5 раза превосходящей плотность воды. Непосредственные наблюдения и подсчеты показывают, что Сатурн должен обладать громадной мощностью атмосферы во многие тысячи километров, содержащей в своем составе большое количество наиболее легких газов, в частности водорода и гелия. То же в значительной степени относится и к Юпитеру.

Земля занимает промежуточное положение между большими планетами и Меркурием. Она не растеряла всех своих легких газов, но и не сохранила их в полной мере. Произошел как бы отсев тех элементов, которые содержались в первоначальном газовом сгустке, послужившем материалом для образования нашей планеты. Более массивные частицы газа, в первую очередь пары тяжелых металлов и других элементов, обладающих высоким атомным весом, были полностью сохранены в составе Земли. Точно так же была удержана земным притяжением и та

часть легких элементов, которая успела образовать соединения, наделенные сравнительно большим молекулярным весом. Элементарные же газы с наименьшим атомным или молекулярным весом Земля должна была потерять при формировании. Они должны были рассеяться в пустом межпланетном пространстве. Этим, в частности, и объясняется повышенный удельный вес земного шара по сравнению с удельным весом больших планет. От этого же зависит и указанное нами выше различие в составе солнечной атмосферы и земной коры в отношении водорода, гелия, азота и других легких элементов.

Земное притяжение вполне достаточно для того, чтобы в настоящее время удержать даже наиболее легкий газ — водород. Но простые вычисления показывают, что при тех температурах, которые имели место во время формирования нашей планеты, Земля должна была растерять значительное количество водорода, гелия, азота, неона и даже свободного кислорода. Как известно, гелий и неон принадлежат к так называемым благородным газам. Они не вступают в химические соединения с какими-либо другими веществами и всегда находятся в состоянии свободных элементов. Обладая малыми атомными весами, они неминуемо должны были быть потеряны Землей. И действительно, в нашей атмосфере эти элементы находятся лишь в ничтожном количестве. Здесь их содержание во много раз меньше, чем в атмосфере Солнца или звезд. Нет никакого сомнения, что весь тот гелий, который Земля первоначально получила от солнечной атмосферы, был ею полностью потерян. Непосредственные наблюдения и вычисления показывают, что весь тот гелий, который мы сейчас в таких малых количествах обнаруживаем в нашей атмосфере, возник на Земле вторично в результате радиоактивных явлений. Точно так же Земля должна была потерять громадные количества неона. Рессель указывает, что содержание этого элемента в определенных типах звезд и в туманностях в 500 млн. раз превосходит соответствующее содержание его на Земле.

Остальные перечисленные элементы должны были сохраниться в составе Земли в тех размерах, в которых они успели вступить в химические соединения с другими веществами и образовать газовые частицы с более высоким молекулярным весом.

В первую очередь это относится к кислороду, который почти полностью сохранился в виде разнообразных соединений, в частности — в виде окислов металлов, SiO_2 и пр. Водород был потерян Землей в гораздо большем размере. Еще больший процент первоначального содержания азота был рассеян в межпланетном пространстве. Если не принимать во внимание тех соединений азота с металлами, которые должны присутствовать в центральном земном ядре, относительное содержание этого элемента на Солнце по Ресселю в 10 000 раз больше, чем на Земле.

Очень интересным является вопрос, как могла сохраниться на земной поверхности вода. Так как молекулярный вес воды (18) ниже даже, чем вес частицы неона (20.2), то она, согласно вышеизложенным представлениям, должна была бы вся улечься с Земли при ее формировании. Большинство авторов, занимавшихся этим вопросом (Вильдт, Рессель и др.), принимают, что вода могла быть захвачена расплавленными магмами или удержана в форме гидратов и в таком виде сохранена для Земли. Однако не нужно забывать о той исключительно ярко выраженной способности к ассоциации, которая присуща молекулам водяного пара. В результате этого молекулы воды в более внешних сравнительно холодных слоях формирующейся Земли могли соединяться в более крупные и тяжелые частицы и в таком виде сохраняться в первичной земной атмосфере, просто в форме перегретого пара.

Рессель [13], подвергнув детальному разбору все те условия, при которых происходило формирование нашей планеты из оторвавшейся от Солнца газовой массы, приходит к следующему заключению: «Если бы масса материи, — пишет он, — по своему составу подобная солнечной атмосфере и содержащая достаточное количество тяжелых элементов, чтобы образовать Землю, могла бы быть отделена в очень горячем состоянии и подвергнута быстрому охлаждению, то получилось бы тело, по своему составу вполне сходное с нашей планетой».

Формирование Земли из раскаленных газовых масс, извергнутых с поверхности Солнца, началось еще при температурах, близких к температуре поверхности нашего светила. Пары наиболее легко сжимаемых элементов уже при этих условиях должны были сгущаться в капли, падающие по направлению к центру будущей планеты. Таким образом, очень быстро на весьма ранних стадиях формирования планеты в центре того газового сгустка, который послужил материалом для ее образования, должно было возникнуть массивное ядро, вокруг которого стали в дальнейшем формироваться и остальные части планеты.

В первую очередь в состав центрального ядра Земли вошли тяжелые тугоплавкие металлы, в частности железо, никель и др. Сюда же очень скоро должен был попасть и углерод, выделяющийся среди всех других элементов своей исключительной способностью к ассоциации атомов. Как мы видели выше, уже при температурах поверхности Солнца атомы углерода соединяются между собой попарно, а при более низких температурах они начинают образовывать частицы с еще большим числом атомов (типа C_n). Вследствие этой особенности элементарный углерод является самым тугоплавким из известных нам веществ. Даже при температуре в 3000° он еще не превращается в жидкость. Понятно, что для того, чтобы превратить его в пар, необходимо еще более сильное нагревание. Вследствие этого при формировании нашей планеты из раскаленных га-

зовых масс тяжелые пары углерода должны были довольно скоро сгуститься в капли или в твердые частицы и в виде углеродного дождя или снега войти в состав первичного земного ядра.

Все это должно было происходить еще при таких температурах, при которых не может быть и речи о возникновении углекислоты, так как эта последняя уже в значительной степени диссоциируется при гораздо более низких температурах порядка 2800° . Окись углерода (СО) является термически более устойчивой, но и она начинает распадаться с образованием элементарного углерода при температурах порядка $2500\text{—}3000^{\circ}$. Эти соображения до известной степени объясняют нам указанный выше факт отсутствия кислородных соединений углерода в атмосфере Солнца и других постоянных звезд и приводят нас к заключению, что главная масса углерода перешла в состав основного металлического ядра нашей планеты в элементарном состоянии. Здесь, находясь в смеси с тяжелыми металлами, в частности с железом, углерод при постепенном остывании должен был в первую очередь вступить в химическую реакцию с этими элементами, образовав наиболее устойчивые по отношению к высоким температурам соединения — карбиды.

Изложенная нами картина возникновения первичного литого ядра планет находит свое подтверждение в исследовании строения современной Земли [29]. Все геофизики и геохимики, на основании ряда данных по изучению удельного веса, силы тяжести, сейсмических явлений и т. д., считают доказанным факт существования в центре нашей планеты металлического ядра радиусом в 3470 км. Химический состав этого ядра весьма обоснованно принимается вполне соответствующим составу железных метеоритов. Сюда входят железо, никель, кобальт, фосфор и углерод. Образчиком такого глубинного вещества может служить уже упоминавшееся нами железо Овифака, впервые открытое Норденшельдом [30] на берегу острова Диско. В состав этой чрезвычайно редкой глубинной породы входит углерод в виде уже известного нам минерала когенита, представляющего собой карбид железа. Такой же карбид находится и в других месторождениях земного самородного железа, и Вернадский считает «очень возможным, что более тщательное изучение этих минералов выяснит их повсеместное существование в глубинных базальтах».

Центральное металлическое ядро нашей современной Земли окружено вышележащими геосферами. Кроме газовой оболочки — атмосферы и водной — гидросферы, здесь нужно указать еще на каменную оболочку — литосферу, толщиной в 1200 км, и лежащую под ней промежуточную геосферу, толщиной в 1700 км, непосредственно уже одевающую центральное железоникелевое ядро Земли. Строение и состав этих геосфер можно видеть на табл. 4, которую мы заимствуем из «Геохимии» А. Ферсмана.

Из рассмотрения этой таблицы легко понять, что в настоящее время когениды центрального ядра Земли одеты такой мощной корой горных пород, что их появление на земной поверхности может происходить только в исключительно редких случаях. Не то было в отдаленную эпоху существования Земли, когда наша планета еще только сформировалась. В то время расплавленные карбидные массы легко вырывались на земную поверхность, так как, во-первых, земная кора была еще сравнительно тонкой и, во-вторых, тогда имели место чрезвычайно мощные перемещения и сдвиги земных масс. В частности, В. Вернадский [31] указывает на ту катастрофу, результатом которой явилось возникновение Луны и образование громадной тихоокеанской впадины. При этом от Земли оторвались колоссальные массы первичных горных пород, и внутренние глубинные магмы должны были изливаться на поверхность нашей планеты. Другие авторы рисуют себе процесс образования океанических впадин, исходя из иных принципов [32]. Но все согласно принимают возможность разрыва верхних слоев земной коры и выхода глубинных пород на поверхность. Изливаясь или извергаясь на земную поверхность, расплавленные карбиды должны были притти в соприкосновение с тогдашней земной атмосферой. Эта атмосфера существенно отличалась от современной нам.

Как мы видели выше, Земля при своем формировании не могла удерживать азота или кислорода в виде элементарных газов. Они должны были рассеяться в межпланетном пространстве. Мысль, что первоначальная атмосфера Земли должна была быть лишена свободного кислорода, высказывалась уже давно. В частности, на этом вопросе подробно останавливался еще С. Аррениус [33] в своей известной книге «Жизненный путь планет». Позднейшие данные показали, что присутствие свободного кислорода в первичной земной атмосфере является очень мало вероятным. Тот запас элементарного кислорода, который при высоких температурах не успел рассеяться в межпланетном пространстве или не вошел в состав первичных горных пород, неминуемо должен был в последующие эпохи существования Земли вступить в соединение с другими элементами, так как большинство составных частей Земли принадлежит к резко выраженным восстановителям, жадно соединяющимся с кислородом. Это полностью подтверждается и современными геохимическими исследованиями. Как мы видим на приведенной ниже табл. 4 строения Земли, в нижних геосферах кислород совершенно отсутствует. Но и более высоко лежащие зоны далеко не насыщены этим весьма химически активным элементом.

В. Гольдшмидт иллюстрирует это положение тем общеизвестным фактом, что извергнутые лавы обладают черными, зелеными и серыми тонами, т. е. содержат в себе железо в виде закиси. Напротив, глины, песок и пр. обладают красным и желтым цветом. В них железо находится в виде окиси. Таким обра-

Строение земли и ее
(по А. Е. Ферс

Сей- смиче- ские границы	Глу- бины в км		Название геосферы	Мощ- ность в км	Давление в атм	Темпера- тура	Состояние вещества
1	2	3	4	5	6	7	8
	200	Атмосфера	Межзвездное пространство	—	До 10^{-24} в 1 см^3	—	Разреж. газы Электроны
			1. Стратосфе- ра	200—300	0.00001	—50—70° повыша- ясь кверху до + 33 и выше	Разреж. газы
	10—15		Слой постоян- ной темпера- туры 2. Тропосфе- ра	10—13	0.3—0.5	— 55°	Газ. Твердая пыль
	0	Гидросфера и биосфера	3. Биосфера (поверхност- ная пленка)	Вверх 5 км, вниз 3 км, всего 8 км	Около 1 (до 500)	От — 67.8 до + 85°	Преиму- щественно коллоиды
	4		4. Гидросфе- ра	Среднее 3.7 (до 10.8 км)	Около 1 (до 1000)	0 до + 7°	Растворы
	20—40 км глуби- на земле- трясе- ний	15—20	Литосфера	Резкая грани- ца 5. Кора вы- ветривания	< 0.8 (до 8 км)	Не выше 250	Средняя 16 до 80°
6. Осадочная оболочка (стратисфера)				< 4	< 1000	До + 100°	Коллоиды + + кристал- лы

отдельных геосфер
ману, 1928)

Уд. вес	Излуче- ние	Масса по отно- шению ко всей земле	Химическая характери- стика	Минералы	Примечания
9	10	11	12	13	14
Ничтож- но	Космиче- ское излу- чение	—	До 300— 500 км—водо- род, гелий, остатки кисло- рода и азота	—	Метеориты — 200—300 до 600 км
—	Космиче- ское излу- чение	0.000002	До 100 км азот и кислород уменьшается. Водород, гелий озон	Пояс периоди- ческого озона. Граница паров воды	Северное сия- ние— 85—750 км Светящиеся облака до 80 км
—	Космиче- ское излу- чение, из- лучение радия	0.00001 0.0001	Азот, кисло- род, аргон, неон, гелий, криптон, ксе- нон, озон, пары воды, угольная кис- лота, нитон	—	Шары-зонды до 377 км. Человек до 19 км. У полюсов толще
—	Излучение солнца. Эманация радия	—	—	Живое веще- ство	—
1.03	Низкая радиоактив- ность	0.02	Водород, кис- лород, хлор, натрий, маг- ний, сера	Вода, лед	—
2.2	Повышен- ная радио- активность в осадках	—	Кислород, во- дород, крем- ний, алюми- ний, углерод, угольная кис- лота, хлор	Глина, кварц, лимонит, гипс, соль, боксит и др.	Ниж. граница кислород. по- верхности 0.5—1 — очень редко 1.5 км
2.5	Средняя радиоактив- ность	0.5	То же	То же + каль- цит, доломит, уголь	Под океанами обычно отсут- ствует

Сейсмические границы	Глубины в км		Название геосферы	Мощность в км	Давление в атм	Температура	Состояние вещества
1	2	3	4	5	6	7	8
20—40 км глубина землетрясения	15—20	Литосфера	7. Метаморфическая оболочка	5—10	< 2 500	До 350°	Кристаллы
			8. Гранитная оболочка—Sial	10—15	До 6 000	600°	Кристаллы
60	70		9. Базальтовая—Sima (точка пересечения кривой температуры и кривой плавления оливина)	70—85	До 20 000	1000	Кристаллы + расплав.
1.200	1.200		10. Перидотитовая (эклогитовая)	1000—1200	До 500 000	1200—1500	Расплавл. + стекло
1.700		Промежуточная геосфера	11. Рудная оболочка	750	1 000 000	Порядка 1000	Стекло.
2.300	2.900		12. Палласитовая. Резкая граница	750	1 500 000	Порядка 1000	Свойства твердого тела Стекло
	6.370	Ядро	13. Центральное ядро	3400	От 2 000 000—3 000 000 (по Адамсу скорее <)	2000° (до 8000°, вероятно, около 5000°)	То же

Уд. вес.	Излуче- ние	Масса по отно- шению ко всей земле	Химическая характери- стика	Минералы	Примечания
9	10	11	12	13	14
2.7	Более вы- сокая ра- диоактив- ность	0.5	То же	Кварц, поле- вые шпаты	Под океанами обычно отсут- ствует
2.6—2.8	Наиболее высокая радиоактив- ность	0.5	Кислород, кремний, алю- миний, калий, натрий, желе- зо, магний, кальций и др.	Кварц, поле- вые шпаты, слюда, магне- тит, апатит	Под океанами отсутствует или очень тонка
2.7—3.3	Средняя активность	1.0	Кислород, кремний, алю- миний, натрий, железо, маг- ний, кальций, титан, фосфор, сера, хлор	Плагиоклазы, пироксены и роговая об- манка, магне- тит, апатит	Дэли на глу- бине 60 км ставит границу между кри- сталлическим базальтом и стекловатым его расплавом (glasbasalt)
3.6—4	Низкая активность	36.0	Кислород, кремний, же- лезо, магний, кальций, хром, никель, вана- дий	Оливин, пи- роксен, анор- тит (пироп, ал- маз)	Расплавленная оболочка (70—120 км)
5 5.5	Весьма низкая активность	20.0	Железо, маг- ний, сера, кальций, фос- фор, углерод; кремний и алю- миний уменьш. Возможное скопление ти- тана, свинца, марганца, рту- ти	Оливин, пи- роксены, сер- ный колчедан, (пирит), хро- мит, магнетит, гематит, ру- тил, ильменит	—
6	Весьма низкая активность	10.0	Вместе с се- рой — селен и теллур	—	Резкая гра- ница
9 10—11 11	Весьма низкая активность	31.5	Железо, ни- кель, кобальт, фосфор, угле- род, хром, се- ра, вероятно группа пла- тины	Самородное железо и ни- кель, троилит, когенит, шрей- берзит и др.	—

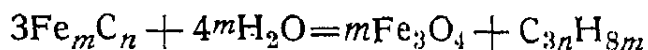
зом, даже при существующих в настоящее время условиях атмосфера, хотя и медленно, но постоянно теряет свой свободный кислород при образовании вторичных горных пород, так как при этом, в частности, происходит переход закисного железа в окисное.

Не подлежит никакому сомнению, что тот молекулярный кислород, который мы наблюдаем в современной нам атмосфере, образовался вторично значительно позднее разбираемой нами эпохи благодаря жизнедеятельности организмов. При теперешней температуре Земли он удерживается земным притяжением и не может улететь в межпланетное пространство. Но если бы сейчас на Земле погибла вся органическая жизнь, то, как это показали исследования Гольдшмидта, весь свободный кислород нашего воздуха исчез бы через определенный промежуток времени, так как он был бы поглощен ненасыщенными горными породами.

В недавно опубликованной работе «Проблемы биогеохимии» В. Вернадский [34] подробно останавливается на вопросе возникновения нашей современной атмосферы. Он указывает, что в настоящее время биогенное происхождение свободного кислорода не может вызывать никаких сомнений. Но он считает, что «то же биогенное происхождение приходится допустить и для более важного по весу и объему газа воздуха — для азота». Первичная атмосфера Земли не могла содержать азот в виде элементарного газа; значительная его часть была утеряна Землей, на что указывает тот факт, что азот, показывающий сильные линии в спектрах звезд и изобилующий в космосе, образует лишь малую часть земной массы (Рессель). Только тот азот, который успел вступить в указанные выше химические соединения, был сохранен для Земли и только в значительно более позднюю эпоху появился в нашей земной атмосфере в виде элементарного газа.

Таким образом, первичная земная атмосфера не содержала в себе ни свободного кислорода, ни азота, но зато она изобиловала водяным паром. Вся вода современных морей и океанов должна была находиться тогда в виде перегретого водяного пара, образующего мощную атмосферу, давление которой по вычислениям А. Довилье [32] превосходило 300 кг на 1 см². С этим водяным паром и пришли в соприкосновение извергнутые на земную поверхность карбиды. Как нам теперь хорошо известно, в результате взаимодействия между этими веществами должны были возникнуть углеводороды.

Д. Менделеев [35] еще в 1877 г. описал эту реакцию, изобразив ее следующим уравнением.



«Клоэз, — пишет далее он, — исследовал углеводороды, исходящие из чугуна при растворении его соляной кислотой, и

нашел SpH_{2n} и др. Я обработал кристаллический марганцовистый чугун (с 8% углерода) той же кислотой и получил жидкую смесь углеводородов по запаху, виду и реакциям совершенно такую же, как и природная нефть». Исходя из этой реакции, Менделеев построил свою известную теорию минерального происхождения нефти. «При подъеме горных пород, — писал Менделеев, — должны образоваться на вершинах трещины, отверстые кверху, а при подошве гор — трещины, отверстые книзу. Обе с течением времени заполняются, засыпаются, но чем моложе горы, тем свежее трещины, и через них вода должна получать доступ так глубоко внутрь земли, как в норме, на равнинах быть этого не может». Таким образом, морская вода, по мнению Менделеева, могла проникать к центральному раскаленному ядру, содержащему большое количество углеродного железа, и при взаимодействии с ним давать начало для образования углеводородов нефти.

Эта теория в настоящее время оставлена, потому что она находится в противоречии с рядом геологических наблюдений. И действительно, трудно себе представить, каким образом капельно жидкая вода могла достигнуть раскаленных карбидов, от которых ее отделяет слой горных пород, мощностью более тысячи километров. Однако основное положение Менделеева об образовании углеводородов при действии воды на карбиды железа находит полное подтверждение как в более старых, так и в позднейших работах.

Еще в 1841 г. Шреттер при действии разбавленной кислоты на чугун получил жидкость, похожую на нефть. Позднее Ган [36] исследовал эту же реакцию. При растворении (в течение нескольких недель) в кислоте большого количества белого чугуна, получилось весьма значительное количество нефтеобразной жидкости. Далее, на ряду с цитируемой Менделеевым работой Клоэза, интересно отметить еще и другое исследование того же автора, где образование углеводородов происходило при разложении феромангана, содержащего 5% углерода, при действии одного только перегретого водяного пара [37].

Харичков [38] наблюдал образование газообразных и жидких углеводородов при долгом действии в запаянных трубках или закупоренных бутылках при 100° водных растворов MgCl_2 , MgSO_4 и NaCl на опилки обыкновенного серого чугуна с 3% углерода. Наконец, В. Ипатьев [39] вновь повторил реакцию получения углеводородов из углеродистого железа путем воздействия на него разведенной соляной кислоты и соляных растворов, а также и водяного пара. «Эти химические исследования, — пишет он, — вполне могут подтвердить образование нефти разложением карбидов железа морской водой».

Можно было бы привести и еще большее количество сообщений аналогичного характера, но и те факты, которые были изложены, достаточно убедительно показывают, что при обра-

ботке карбидов железа разбавленными кислотами, соляными растворами или даже просто перегретым водяным паром всегда образуются углеводороды. Точно так же и карбиды других металлов, в частности щелочных и щелочноземельных, легко образуют углеводороды при воздействии на них воды.

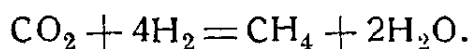
Аналогичное возникновение углеводородов должно было иметь место и в те отдаленные периоды существования Земли, когда извергнутые на ее поверхность карбиды подверглись воздействию перегретого водяного пара тогдашней атмосферы. Даже в настоящее время такое первичное образование углеводородов, повидимому, имеет место, правда, в исключительных случаях, так как встреча веществ, составляющих центральное земное ядро с веществами, расположенными на земной поверхности, в настоящее время может происходить только исключительно редко.

«Есть, однако, факты, — говорит Вернадский [21], — доказывающие, что металлические карбиды, когениты, а может быть и другие действительно выпадают в некоторых изверженных породах при условиях, не противоречащих образованию углеводородов под влиянием горячей воды».

В первые периоды существования планет нашей солнечной системы это взаимодействие карбидов с перегретым водяным паром, связанное с образованием углеводородов, должно было иметь массовый характер. Несомненные результаты этого грандиозного процесса сохранились и до настоящего времени как в атмосферах больших планет,¹ так и в углеводородах малых планетных образований, кусками которых являются падающие на землю метеориты. На земной поверхности эти первичные углеводороды не сохранились, потому что они подверглись дальнейшим глубоким химическим изменениям, давшим, как мы увидим в следующей главе, начало для образования сложных органических соединений.

Подводя итоги всему сказанному, мы видим, что первое необходимое для возникновения жизни условие — первичное массовое образование простейших органических веществ — имело место в отдаленные периоды существования нашей планеты. Это

¹ Рессель [40] в одной из своих речей высказывал предположение, что углеводороды больших планет образовались вследствие восстановления углекислоты тем элементарным водородом, который в значительных количествах сохранился в атмосфере этих планет. Реакция, по его мнению, шла согласно следующему уравнению:

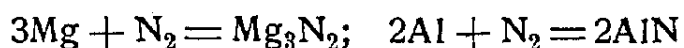


Таким образом, указанный автор за исходное вещество принимает углекислоту, первичное образование которой, как мы видели, является весьма сомнительным. Вместе с тем с изложенной точки зрения является совершенно непонятным нахождение углеводородов в метеоритах, так как на этих образованиях отсутствовал необходимый для указанной выше реакции свободный водород.

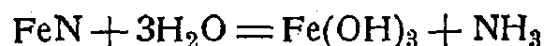
подтверждается всей совокупностью фактов, которыми в настоящее время располагает наука. Углерод впервые появился на земной поверхности не в форме уголекислоты, как это думали раньше, а в восстановленном виде, в виде углеводов.

Теперь мы должны вкратце остановиться на судьбе другого чрезвычайно биологически важного элемента — азота. Как мы уже упоминали выше, согласно данным В. Вернадского [34], почти весь свободный азот нашей атмосферы имеет вторичное происхождение и так или иначе связан с жизнедеятельностью организмов. При формировании Земли элементарный азот точно так же, как и кислород, не мог быть удержан земным притяжением в сколько-нибудь значительных количествах. Та часть азота, которая была сохранена нашей планетой, удержалась на ее поверхности только вследствие того, что азот вступил в соединения с другими элементами, образовав более или менее крупные частицы с высоким молекулярным весом. Это тем более вероятно, что азот, являющийся при современных условиях чрезвычайно пассивным, при температурах порядка 1000° и выше весьма энергично вступает в соединения с рядом других элементов.

Из возможных соединений здесь прежде всего нужно указать на окислы азота. Реакция соединения азота и кислорода идет согласно уравнению $N_2 + O_2 \rightleftharpoons NO$. Однако получающаяся при этом окись азота при медленном охлаждении легко распадается обратно на молекулу кислорода и азота (при температурах, лежащих около 1000°). Поэтому вряд ли можно считать окись азота исходным продуктом для образования первичных соединений этого элемента. Гораздо более вероятны соединения азота с металлами — так называемые нитриды металлов. Литий, магний, кальций, алюминий, железо и др. при нагревании до высоких температур жадно поглощают азот, образуя соответствующие нитриды, согласно следующим уравнениям:



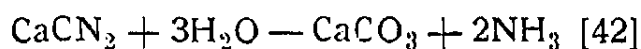
Такие соединения могли получиться и при формировании горных пород из первичной туманности, окутывающей центральное металлическое ядро. Вероятие образования этих соединений подтверждается нахождением металлических нитридов, в частности, — нитридов железа в глубоко лежащих слоях земной коры (А. Готье) [41] и в изверженных вулканических лавах (А. Брен). Гольдшмидт даже считает, что значительные количества металлических нитридов находятся в растворенном состоянии в железно-никелевом ядре Земли. Нитриды при обработке их водяным паром дают аммиак согласно уравнению:



Это же соединение могло образоваться и первично в верхних слоях раскаленной газовой туманности при соприкосновении

водорода и азота, в настоящее время подобным образом получается аммиак в технике по способу Габера ($N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$).

Наконец, извергнутые на земную поверхность карбиды при температурах, лежащих около 1000° , могут образовать с азотом соответствующие циан-амиды $CaC_2 + N_2 = CaCN_2 + C$, которые при воздействии перегретого водяного пара также дают аммиак.



Таким образом, мы видим, что все возможные в разбираемых нами условиях реакции приводят к образованию аммиака. Это положение находит сильное подтверждение в факте постоянного присутствия в атмосферах больших планет значительной массы аммиака. Первичное образование аммиака подтверждается и рядом геохимических исследований. Так, Вернадский [43] пишет по этому поводу: «Выделение вулканами хлористого и фтористого аммония несомненно. Лишь часть их может быть связана с разрушением остатков живого вещества, увлеченных лавой. Совсем нельзя связать с явлениями жизни выделение аммиака вместе с перегретыми парами воды (до 190°) в районе гейзеров из глубины не ниже 200 м, так, например, в Тоскане в Италии или Сономе в Калифорнии. Эти газы магматического происхождения выделяются одновременно с парами воды.

Аммиачные каолиновые алюмосиликаты, повидимому, находятся в изоморфных подмесьях минералов вулканических и массивных пород, и существование первичного азота в этих породах кажется очень вероятным».

Таким образом, с большой долей вероятия можно предполагать, что и азот, подобно углероду, впервые появился на земной поверхности в восстановленном виде — в виде аммиака.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Henry Draper Catalogue, Ann. Harv. Obs., 91/99, 1918—1924; The Henry Draper Extension, Ann. Harv. Obs., 100, 1925.
2. J. S. Plaskett. Publ. Dominion Astrophys. Obs., Victoria, vol. II, N 16, 1924.
3. H. N. Russell. Publ. Amer. Astr. Soc., 3, 22, 1918; см. также Russell. Stewart, Dugan, «Astronomy», 11.
4. H. Bethe. Phys. Rev. 55, 434, 1939; «Nature», 143, 904, 1939; Science Jan. 13, 1939.
5. F. Henroteau. a. J. P. Henderson. Publ. Dom. Obs., 5. № 1, 1920; № 8, 331, 1921.
6. E. P. Waterman. Lick. Obs. Bull., 8, № 243, 1, 1913.
7. W. Rufus. Publ. Astr. Obs. Univ. o Michigan, vol. 2, 103, 1915; R. Sanford, Publ. Astr. Soc. Pacif. (S. Francisco), vol. 41, 271, 1929.
8. H. von Klüber. Das Vorkommen der chemischen Elemente im Kosmos, Leipzig, 1931 (здесь же можно найти подробную сводку по всему разбираемому вопросу).
9. H. Newall, F. Baxandall a. C. Buttler. Monthly Notices Royal Astr. Soc., 76, 640 1916; F. Lowater. Pop. Astr., 25, 179, 1917.

10. A. Fowler a. C. Gregory. Phil. Trans., 213, 351, 1919.
11. C. Raffety. Phil. Mag., 32, 546, 1916.
12. F. Baldet. Ann. de l'Obs. d'Astr. phys. de Paris, VII, 1926; F. Hogg. J. Astr. Soc. of Canada. 1929.
13. H. Russell. The Solar System and its Origin. New York. 1935.
14. A. Adela. V. Slipher. Physic. Review, 46, 902. 1934.
15. А. Ферсман. Геохимия, т. I и II. ОНТИ, Ленинград.
16. J. a. W. Noddack. Die Naturwissenschaften, 35, 1930 (см. также А. Ферсман. Геохимия и von Klüber. Das Vorkommen der Chem. Elemente im Kosmos).
17. И. Астапович. «Природа» № I, 14, 1940.
И. Астапович и В. Федынский. «Метеоры». Изд. А. Н. СССР, 1940.
18. Цит. по von Klüber, 9.
19. Меликов и Кржижановский. Журн. Хим. О-ва, I, 651, 1896.
20. А. Ферсман. Геохимия, т. I, 183, 1934.
21. В. Вернадский. Очерки геохимии. Горгонефтеиздат, 1934.
22. Литература см. у В. Вернадского. Изв. Ак. Наук, I, 174, 179, 1914.
23. I. Jeans. Astronomy and Cosmogony. Cambridge, 1929.
Д. Джинс. Происхождение солнечной системы, Мирозведение т. XXI, № 1-2, 1932.
Джеффрейс. Происхождение солнечной системы.; там же, т. XIX, № 3-4, 1930.
24. C. Jeffreys. The Earth. Cambridge, 1929.
25. R. Lyttleton. M. N. 96, 562, 1936; 98, 536, 1938.
26. Holmberg. Med. Lund, A. O. Sec. II № 92, 1938.
27. Н. Парийский. Астрономический журнал, XVI (I), 77, 1939.
28. H. Rowland. Preliminary Table of Solar Spectrum Wave lengths, Chicago, 1896; Revision of Rowlands Preliminary Table Carnegie Inst. Washington, 1928.
29. Б. Гутенберг. «Строение земли», ОНТИ, 1934. V. Goldschmidt. Fortschritte der Mineralogie 17. 1933.
30. Цит. по М. Неймару. «История земли», 1897 (см. также сноску 21, В. Вернадский.)
31. В. Вернадский. Изв. Ак. Наук, VII, № 5, 633, 1931.
32. A. Dauvillier. L'Astronomie. December, p. 529. 1938.
33. С. Аррениус. Жизненный путь планеты. Госиздат, 1923.
34. В. Вернадский. Проблемы биогеохимии. Изд. А. Н. 1935.
35. Д. Менделеев. Основы химии, т. I, 379. Госиздат, 1927.
36. Nahn. Liebig's Annalen, 129, 57, 1884.
37. Слоез. С. R., 86, 1244, 1878.
38. Харичков. Журн. Хим. Общ. (I), 825, 1896; (I), 162, 1897.
39. В. Ипатьев. Нефть и ее происхождение, 1922.
40. H. Russell. «Nature», N 3406, 9, 11, 1935 (рус. пер. «Природа», № 5, 49, 1935).
41. A. Gautier. Ann. des miner, 10, 350, 563, Paris 1906.
42. По связыванию азота и образованию аммиака см. К. Кейзер и А. Мозер. Азот воздуха и его использование, Москва, 1929; Тр. комис. по связанному азоту, НХТИ, 1925.
43. В. Вернадский. Очерки геохимии, 155, 1934.

ГЛАВА V

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ. ПЕРВИЧНЫЕ БЕЛКИ

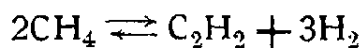
Как мы уже говорили выше, многие авторы, стоявшие по вопросу о происхождении жизни на механистических позициях (Геккель [1], Осборн [2], Омолянский [3] и др.), считали, что самозарождение жизни, имевшее место в отдаленные эпохи существования нашей планеты, могло происходить благодаря наличию в то время на Земле каких-то физических сил, которые формировали живые существа из мертвой материи.

Но в настоящее время мы вряд ли можем встать на эту точку зрения. Нет сомнения, что в разбираемую нами эпоху (в особенности в первые периоды существования углеродных соединений) физические условия на земной поверхности были иные, чем теперь, — была более высокая температура, иной состав атмосферы, иные условия освещения и т. д. Но в этих условиях мы не находим ничего таинственного или необычного. Наоборот, они нам более или менее хорошо известны. Мы не только можем легко представить себе указанные условия, но даже в значительной степени и воспроизвести их в своих лабораториях. И тем не менее, они не могут нам объяснить, каким образом зародилась на Земле жизнь. Это вполне понятно, так как для разрешения проблемы происхождения жизни недостаточно знать только внешние физические условия.

Нужно принимать во внимание и внутренние химические свойства тех веществ, из которых в конечном счете образовались живые существа. Именно изучение «поведения» этих веществ при данных внешних условиях укажет нам тот путь, по которому шла дальнейшая эволюция органического вещества. Этот метод исследования оправдывается тем более, что лишь в начале указанной эволюции внешние условия существования были отличны от современных природных условий. С момента образования первичного океана обстановка, в которой находились органические вещества, настолько близка к современной, что мы смело можем делать заключение о ходе химических превращений на основании получаемых нами в настоящее время данных.

Главные трудности такого рода построений состоят в колоссальном разнообразии всякого рода химических превращений и взаимодействий, на которые способны углеводороды и их производные. Но для разрешения нашей задачи совершенно не требуется воспроизвести весь процесс во всех его деталях. Нам важно только отчетливо представить себе основные тенденции, основные линии поведения органического вещества в его дальнейшей эволюции на земной поверхности. В этом отношении современная органическая и биологическая химия дают нам достаточно фактического материала для осуществления вполне обоснованных выводов.

Указанное в предыдущей главе взаимодействие карбидов с перегретым водяным паром должно было происходить еще при довольно высоких на наш современный взгляд температурах порядка нескольких сотен градусов. О превращениях, которые в указанных условиях испытывают углеводороды, мы имеем довольно отчетливое представление, потому что процессы, происходящие при термической (пирогенной) обработке углеводородов многократно изучались в связи с крекинг-процессом¹ и другими практическими заданиями. В недавнее время Панетом было показано, что при температурах, лежащих около 1000°, мы имеем первичное образование не углеводородов, а их свободных радикалов. Примером таких радикалов могут служить упоминавшийся уже нами выше метин (CH), метилен (CH₂) и др. Эти образования не могут длительное время существовать в свободном состоянии; они быстро взаимно соединяются, образуя при этом значительное количество непредельных углеводородов этиленового и ацетиленового ряда. Эти же соединения образуются и при простом нагревании до высоких температур предельных углеводородов. Так, например, Голлидей и Ноттингем [4] в 1931 г. показали, что метан при нагревании до 1000° даже в отсутствии контактных влияний образует ацетилен, согласно уравнению:



Наконец, ряд карбидов и непосредственно дают непредельные углеводороды при своем взаимодействии с водяным паром или с водой даже при сравнительно низких температурах. В качестве примера здесь можно привести общеизвестную реакцию получения ацетилена из карбида кальция

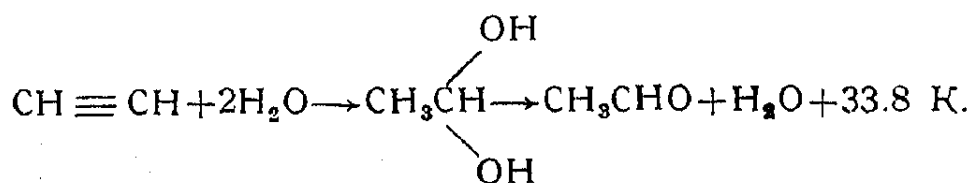


Таким образом, есть все основания считать, что первично возникшие на земной поверхности углеводороды, по крайней мере в значительной части, являлись непредельными соедине-

¹ Путем крекинга, т. е. нагревания до высокой температуры отдельных фракций нефти и нефтяных остатков, можно получить бензин и ряд других ценных для техники продуктов.

ниями этиленового или ацетиленового ряда. Особенно вероятно образование ацетилена, который, повидимому, имел преобладающее значение среди образовавшихся в то время углеводородов.

Многочисленные исследования целого ряда химиков-органиков и, в особенности за последнее время, исследования А. Фаворского [5] и его школы с несомненностью показывают исключительную реакционную способность непредельных углеводородов и те колоссальные химические возможности, которыми обладают эти соединения. Для нас особый интерес представляет способность непредельных углеводородов сравнительно легко гидратироваться, т. е. присоединять к своей молекуле целую молекулу воды. В качестве примера здесь можно привести реакцию гидратирования ацетилена в ацетальдегид:



Как мы видим из приведенного уравнения, эта реакция протекает экзотермически, с выделением значительного количества тепла, и следовательно, она может происходить «самопроизвольно», не нуждаясь в каком-либо притоке энергии извне. Присутствие ряда неорганических катализаторов, как, например, окиси железа, значительно увеличивает скорость этой реакции, но она, хотя и медленно, все же может идти даже и в отсутствие этих катализаторов.

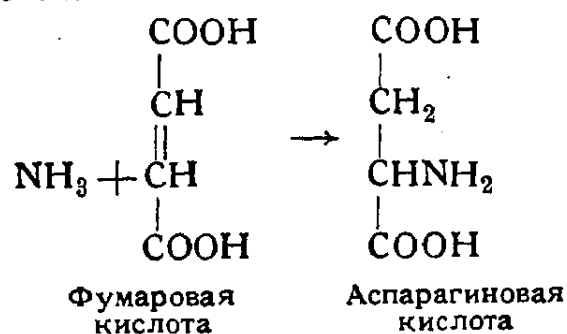
Не подлежит сомнению, что и те непредельные углеводороды, которые первично возникли на земной поверхности, в главной своей массе должны были подвергаться гидратированию или в момент своего образования, или позднее, когда они перешли в насыщенную перегретым водяным паром атмосферу Земли, так как все необходимые для этого условия были тогда налицо. При этом на земной поверхности должны были образоваться значительные массы разнообразных продуктов окисления углеводородов — спирты, альдегиды, кетоны и органические кислоты.

Так как, согласно вышеприведенному уравнению, при гидратировании ацетилена образуется ацетальдегид, то это соединение должно было преобладать среди всех других продуктов окисления углеводородов. Таким образом, главная масса первично возникших на земной поверхности третичных органических веществ была представлена в виде ацетальдегида.

Этот вывод, к которому мы невольно приходим при рассмотрении условий образования первичных соединений углерода на земной поверхности, интересно сопоставить с тем фактом, что ацетальдегид играет совершенно исключительную роль в современных биохимических процессах. Он лежит на путях самых разнообразных превращений веществ и энергии внутри

различных организмов. Эти пути обмена веществ у различных живых организмов могут глубоко отличаться один от другого. На ряду с организмами, которые в качестве основного питательного вещества используют углеводы, нам известны и такие грибки и бактерии, которые могут питаться парафином и использовать в качестве единственного источника углерода такие циклические и полициклические углеводороды, как бензол, толуол, фенантрен, аценафтен, флуорен и их ближайшие производные вроде фенола, полифенолов, салициловой кислоты и пр. (В. Таусон) [6]. Наконец, известны бактерии, которые могут питаться холестерином, полинафтенами и т. д. Однако, как ни разнообразны пути обмена веществ у всех этих организмов, они все перекрещиваются в одной точке; этой точкой является ацетальдегид или его ближайшие производные типа альдоля [7]. Этот факт весьма интересен и показателен с той точки зрения, что, как мы увидим ниже, основы современных биохимических процессов закладывались уже на самых ранних стадиях существования органических веществ. Поэтому участие ацетальдегида в обмене веществ всех известных нам организмов делает весьма вероятным предположение, что именно он (ацетальдегид) является основным, исходным соединением в эволюции органического вещества.

Однако первичные неопредельные углеводороды во время их образования должны были встретиться на земной поверхности не только с водой, но и с аммиаком. В результате происходящего при этом взаимодействия возникали разнообразные азотистые соединения — аммонийные соли, амиды, амины и т. д. Так, например, если вести вышеописанную реакцию гидратирования ацетиленов в присутствии аммиака, то уже на-глаз можно заметить образование кристаллического осадка — альдегид-аммиака, так как аммиак здесь чрезвычайно быстро соединяется с образующимся ацетальдегидом [8]. Присоединяясь к кислородным производным неопредельных углеводородов по месту двойной связи, аммиак приводит к образованию различных аминов. В частности, в качестве примера можно привести реакцию присоединения аммиака к фумаровой кислоте с образованием аспарагиновой кислоты:



Эта реакция играет исключительно важную роль при образовании аминокислот, — тех основных кирпичей, из которых построена белковая молекула.

Первоначальные этапы описанных нами выше превращений углеводов должны были происходить еще в насыщенной водяным паром атмосфере Земли. Но когда температура нашей планеты упала настолько, что явилась возможность для образования капельножидкой воды, из атмосферы на земную поверхность хлынули горячие ливни, затопившие ее и образовавшие первородный кипящий океан. Находившиеся в атмосфере кислородные и азотные производные углеводов были увлечены этими ливнями, и таким образом в момент возникновения первичных горячих морей и океанов в них уже были растворены простейшие органические соединения. В этой новой водной среде взаимодействие углеводородных производных и их дальнейшие превращения не прекратились. Спирты, альдегиды, кислоты, амины, амиды и т. д. продолжали и здесь реагировать между собой и с элементами окружающей среды, образуя колоссальное число разнообразных, но уже более сложных органических соединений. Мы не можем в деталях проследить эти чрезвычайно разветвленные, чрезвычайно многообразные процессы эволюции органического вещества, да это и не требуется для нашей цели. Но общую тенденцию превращений и изменений мы, несомненно, можем установить на основании изучения свойств указанных выше соединений.

Как мы уже отмечали, неопредельные углеводороды и их кислородные и азотные производные таят в себе колоссальные химические возможности. Пользуясь ими как исходным материалом, современный химик-органик может в своей лаборатории воспроизвести все разнообразие органических веществ, которое мы в настоящее время встречаем в природе. Он может искусственно построить почти все соединения, которые входят в состав клеток животных и растений.

Но нужно отметить, что химик для своих синтезов применяет иные методы, чем те, которыми пользуется живая клетка. Для того, чтобы заставить органические вещества быстро и в нужном направлении реагировать между собой, химик часто прибегает к галогенам, минеральным кислотам, крепким растворам щелочей, к высоким температурам и давлениям и к ряду других сильно действующих средств; он располагает громадным арсеналом различных приемов, позволяющих ему осуществлять самые разнообразные реакции и получать большие выходы нужных ему продуктов.

Но в естественных условиях, в живых организмах синтез разнообразных органических веществ основан на совершенно ином принципе. Здесь нет упоминавшихся выше сильно действующих средств, отсутствуют высокие температуры, молекулы органических веществ не подвергаются хлорированию, бромированию или введению других галогенов, реакция среды всегда остается сравнительно близкой к нейтральной, и, тем не менее, органические вещества претерпевают здесь ряд весьма

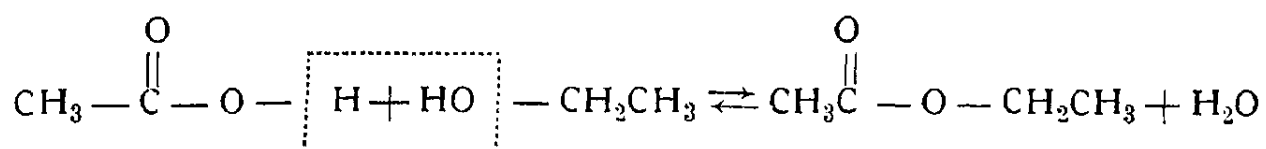
существенных изменений и превращений. В настоящее время можно считать прочно установленным фактом, что эти же превращения органических веществ могут идти и вне живой клетки; различие будет сводиться только к их скорости. В живой клетке имеются специальные катализаторы, ферменты (на них мы подробно остановимся в дальнейшем). В результате действия этих катализаторов химические взаимодействия между органическими веществами ускоряются во много сотен тысяч раз. Но самая способность к реакции не определяется наличием ферментов, а зависит от самого органического вещества, подвергающегося изменению. Эти изменения осуществляются и вне живой клетки, в отсутствие ферментов, но идут при этом чрезвычайно медленно. В лабораторной практике и в практике химической промышленности эти медленные темпы превращения вещества совершенно неприемлемы. Поэтому-то химик и стремится подхлестнуть ход химических реакций путем применения разного рода сильно действующих средств. Но в интересующем нас вопросе время не имело существенного значения. Эволюция органического вещества, несомненно, протекала в течение очень длительного периода. Поэтому в ней выдающуюся роль играли и медленно идущие химические превращения.

Для разбираемого нами вопроса чрезвычайно существенно изучение тех возможных превращений, которым могут подвергаться органические вещества в живой клетке, так как это изучение позволяет нам установить основные химические реакции, на которые способны органические вещества в условиях водной среды и которые необходимы для синтеза сложнейших соединений, служащих материалом для построения тел живых организмов.

Принято думать, что в живой клетке происходит громадное количество разнообразнейших реакций. Это мнение основано на большом числе различных веществ, которые мы можем выделить из тел животных и растений. Однако более детальное рассмотрение вопроса показывает, что это не так. Несмотря на исключительное, поражающее количество разнообразных веществ, которые входят в состав живых организмов, все они возникли, образовались в результате сравнительно простых и довольно однородных реакций. В основе химических превращений органических веществ, которые мы можем установить в живой клетке, лежат три главнейших типа реакций. Это, во-первых, конденсация, т. е. удлинение углеродной цепи и обратный ему процесс — разрыв связи между двумя углеродными атомами; во-вторых, полимеризация — соединение двух органических молекул посредством кислородного или азотного мостика, и обратный ему процесс — гидролиз; и, наконец, в-третьих, процесс окисления и сопряженный с ним процесс восстановления (окислительно-восстановительная реакция).

Эта реакция имеет громадное биологическое значение. Вся углекислота, выделяемая организмами при брожении или дыхании, возникает именно таким или аналогичным путем [10].

Второй указанный нами выше тип реакций — полимеризация — сводится также к соединению двух или нескольких молекул между собой. Но в этом случае указанное спаивание молекул происходит уже не при помощи связи, устанавливаемой между двумя углеродными атомами, а путем возникновения кислородного или азотного мостика. Примером таких реакций может служить синтез сложных эфиров, который протекает согласно уравнению:



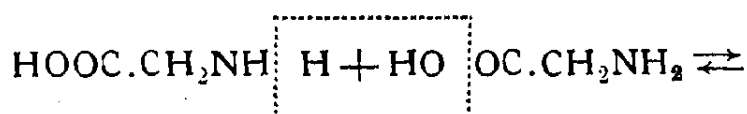
Здесь через кислородный атом устанавливается связь между молекулой кислоты (в данном случае уксусной) и спиртом (в данном случае винным). При этом в месте присоединения освобождаются гидроксил и водород, соединяющиеся между собой в молекулу воды. Согласно указанной реакции, в живой клетке возникают жиры, представляющие собой сложные эфиры, где роль спирта играет глицерин, а роль кислоты — стеариновая, пальмитиновая, олеиновая и другие жирные кислоты.

Но в процессе полимеризации могут соединяться и другие органические молекулы. В частности, большое биологическое значение имеет образование простых эфиров. В этом случае две молекулы спирта соединяются между собой при помощи кислородного мостика с выделением молекулы воды согласно уравнению:



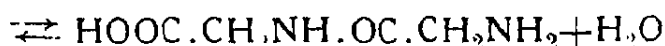
Эта реакция лежит в основе образования таких веществ, как тростниковый сахар, крахмал, клетчатка и другие сложные углеводы, играющие существенную роль как в животном, так и, в особенности, в растительном организме.

Наконец, полимеризация может происходить путем присоединения молекул через посредство азотного атома. Как известно, Э. Фишер [11] показал, что две аминокислоты могут соединяться между собой согласно уравнению:



Гликоколь

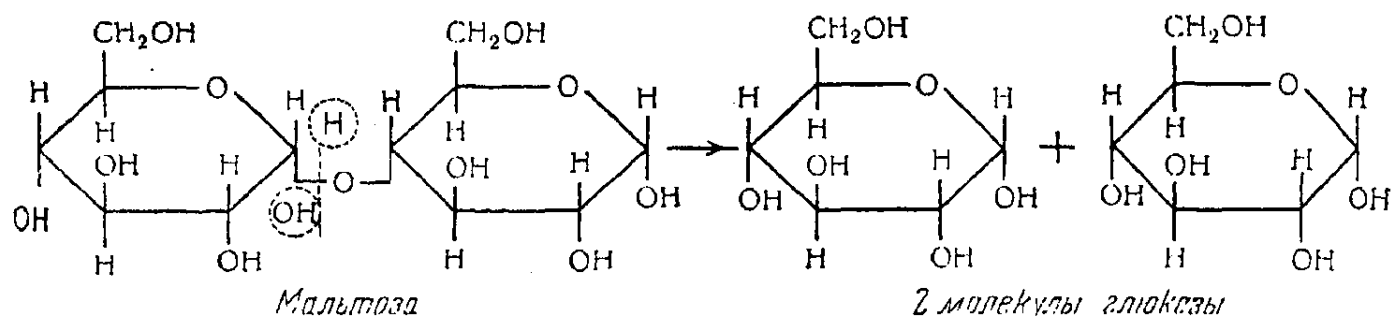
Гликоколь



Глицил-глицин

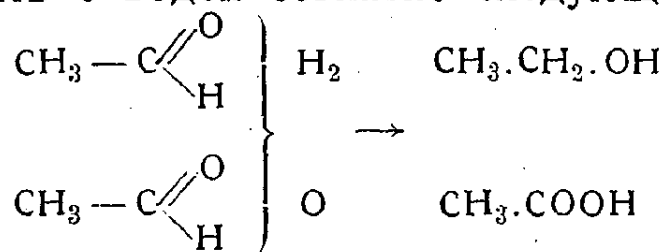
Эта реакция лежит в основе синтеза белковых веществ. Уже одно это показывает ее исключительное биологическое значение.

Как мы видели, во всех изложенных случаях полимеризации реакция идет с выделением воды. Обратный процесс — гидролиз сводится к разрыву связей в сложных органических соединениях с присоединением элементов воды, гидроксила и водорода по месту разрыва. Так, например:



Гидролиз сложных органических соединений особенно подробно изучен в биологической химии, так как он широко происходит во всех тех случаях, когда имеет место разложение запасных или питательных веществ, при прорастании растительных семян, в желудочно-кишечном тракте животных и т. д. Он легко может быть осуществлен и вне живой клетки, просто в водной среде, причем скорость его может быть значительно увеличена действием ферментов или неорганических катализаторов.

Сущность третьего типа реакций — окислительно-восстановительных — можно понять на примере процесса, впервые подробно изученного Канниццаро [12]. Две молекулы альдегида могут реагировать с водой согласно следующему уравнению:

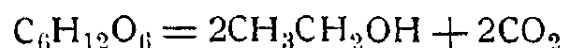


При этом одна молекула присоединяет к себе гидроксил воды и окисляется в соответствующую кислоту, а другая молекула присоединяет водород и восстанавливается до соответствующего спирта. Таким образом, происходит сопряженное окисление и восстановление, идущее за счет элементов воды. В то время как при гидролизе гидроксил и водород одновременно присоединяются по месту разрыва, в этом случае присоединение элементов воды происходит к разным органическим молекулам.

Механизм окислительно-восстановительных реакций, идущих в водной среде, был в свое время разработан М. Траубе [13] на ряде примеров из неорганической химии. Позднее А. Бах [14] показал, что аналогичные превращения лежат в основе дыхания и других окислительных процессов, совершающихся в живой клетке. Г. Виланд [15] трактует механизм этой реакции несколько иначе. Он считает, что к окисляемому телу (скажем,

к одной молекуле альдегида) прежде всего присоединяется целая молекула воды,—происходит ее гидратация. Затем от образовавшегося гидрата отрывается водород, который и улавливается (акцептируется) другой молекулой альдегида или каким-либо иным веществом, восстанавливающимся в процессе указанной реакции. Но для нас в данном случае важно только отметить, что, согласно и тем и другим представлениям, окислительно-восстановительная реакция идет за счет элементов воды.

С первого взгляда кажется странным, что все разнообразие химических процессов, которое мы вправе предполагать в живой клетке, может быть сведено к указанным трем типам реакций. Однако детальное изучение биохимических процессов убеждает нас в справедливости указанного положения. Для примера разберем, хотя бы весьма схематично, химизм такого сложного процесса, как спиртовое брожение. Давно уже было осознано, что суммарная формула брожения:



выражает собою лишь начало и конец процесса, который складывается из длинной цепи промежуточных реакций. Благодаря работам Костычева, Лебедева, Нейберга, Гардена, Эмбдена, Мейергофа и др. [16] мы в настоящее время довольно ясно представляем себе отдельные звенья этой цепи и их последовательность. Сахар прежде всего образует сложный эфир с двумя молекулами фосфорной кислоты, затем этот эфир распадается вследствие разрыва связи между двумя углеродными атомами на две молекулы триозофосфата. Между этими молекулами происходит окислительно-восстановительная реакция, причем одна молекула восстанавливается до глицеринофосфата (фосфорное производное глицерина), а другая окисляется до фосфорно-глицериновой кислоты. Далее происходит отщепление фосфорной кислоты и так называемое «внутреннее каннищаро», — окислительно-восстановительная реакция, связанная с перемещением гидроксильных и водородных групп. В результате этого получается пировиноградная кислота. Эта кислота подвергается расщеплению (реакция разрыва связи между двумя углеродными атомами), вследствие чего отщепляется углекислота и образуется ацетальдегид. Ацетальдегид входит в окислительно-восстановительную реакцию с одной из молекул триозофосфата, образующегося при распаде сахара. При этом триозофосфат превращается в фосфорно-глицериновую кислоту, которая вновь подвергается описанным уже изменениям, а ацетальдегид восстанавливается в соответствующий винный спирт (см. рис. 2).

Таким образом, мы видим, что весь процесс спиртового брожения представляет собой цепь последовательно сменяющихся реакций полимеризации, окислительно-восстановительных реакций и разрыва связи между углеродными атомами, причем продукты, возникающие в результате первой реакции, сейчас же

подвергаются изменению в результате второй и т. д. до конца процесса. Если бы мы в этой цепи несколько изменили последовательность отдельных ее звеньев, то получили бы совершенно иной продукт суммарной реакции. Так, например, в молочнокислом брожении процесс идет точно так же, как и в спиртовом,

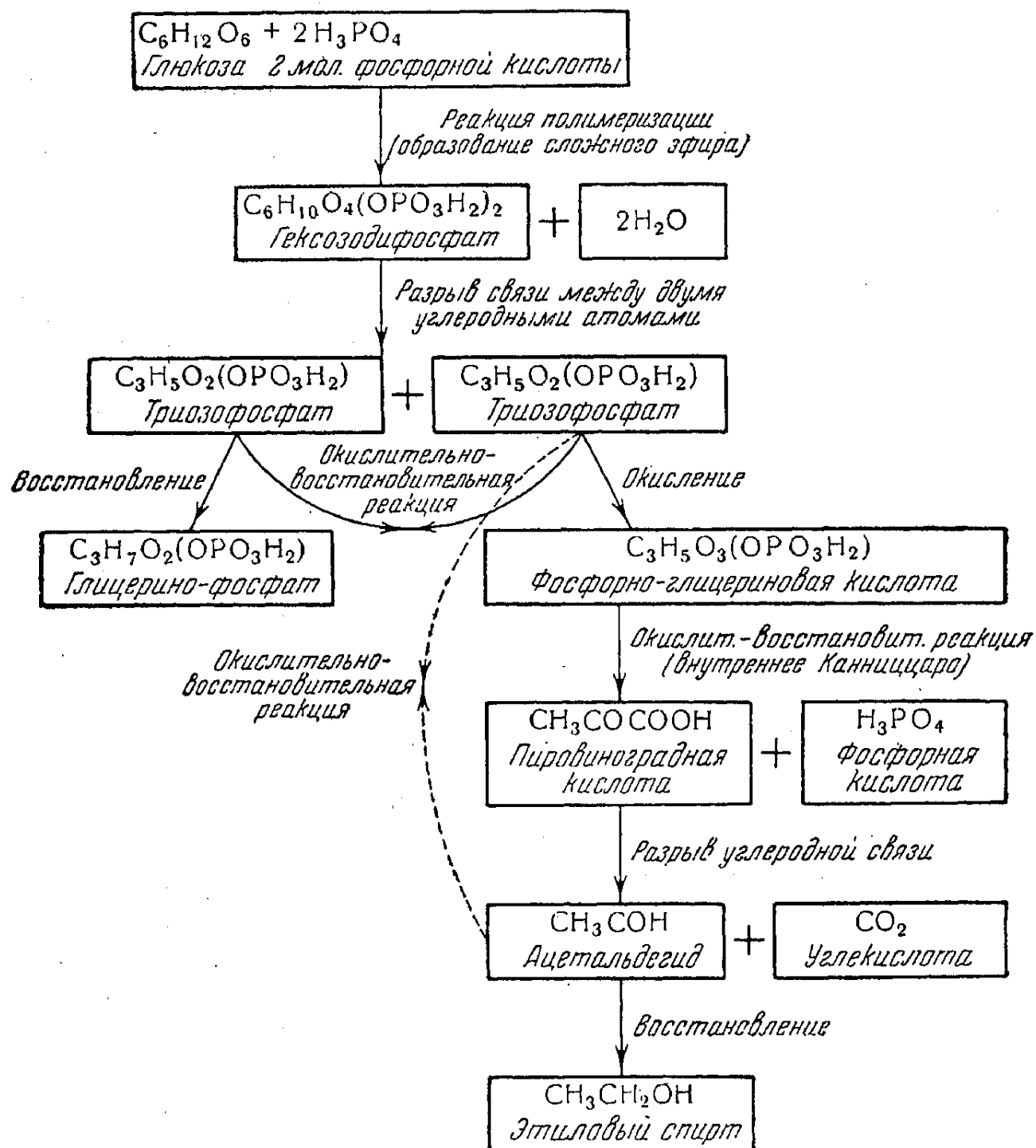


Рис. 2. Схема спиртового брожения.

Но тогда, когда дело доходит до образования пировиноградной кислоты, последняя не расщепляется на углекислоту и ацетальдегид. Вместо этой реакции разрыва связей между двумя углеродными атомами происходит окислительно-восстановительное взаимодействие между пировиноградной кислотой и глицеринофосфатом, образовавшимся в результате предыдущих процессов. Глицеринофосфат окисляется и из него получается триозофос-

фат, который подвергается выше описанным изменениям. В то же время пировиноградная кислота восстанавливается, что приводит к образованию молочной кислоты (см. рис. 3).

Таким образом, стоило только несколько изменить последовательность процессов, и вместо спирта и углекислоты получается совершенно иной продукт — молочная кислота.

В этом изменении последовательности сравнительно простых реакций указанных выше трех типов и кроется причина того ко-

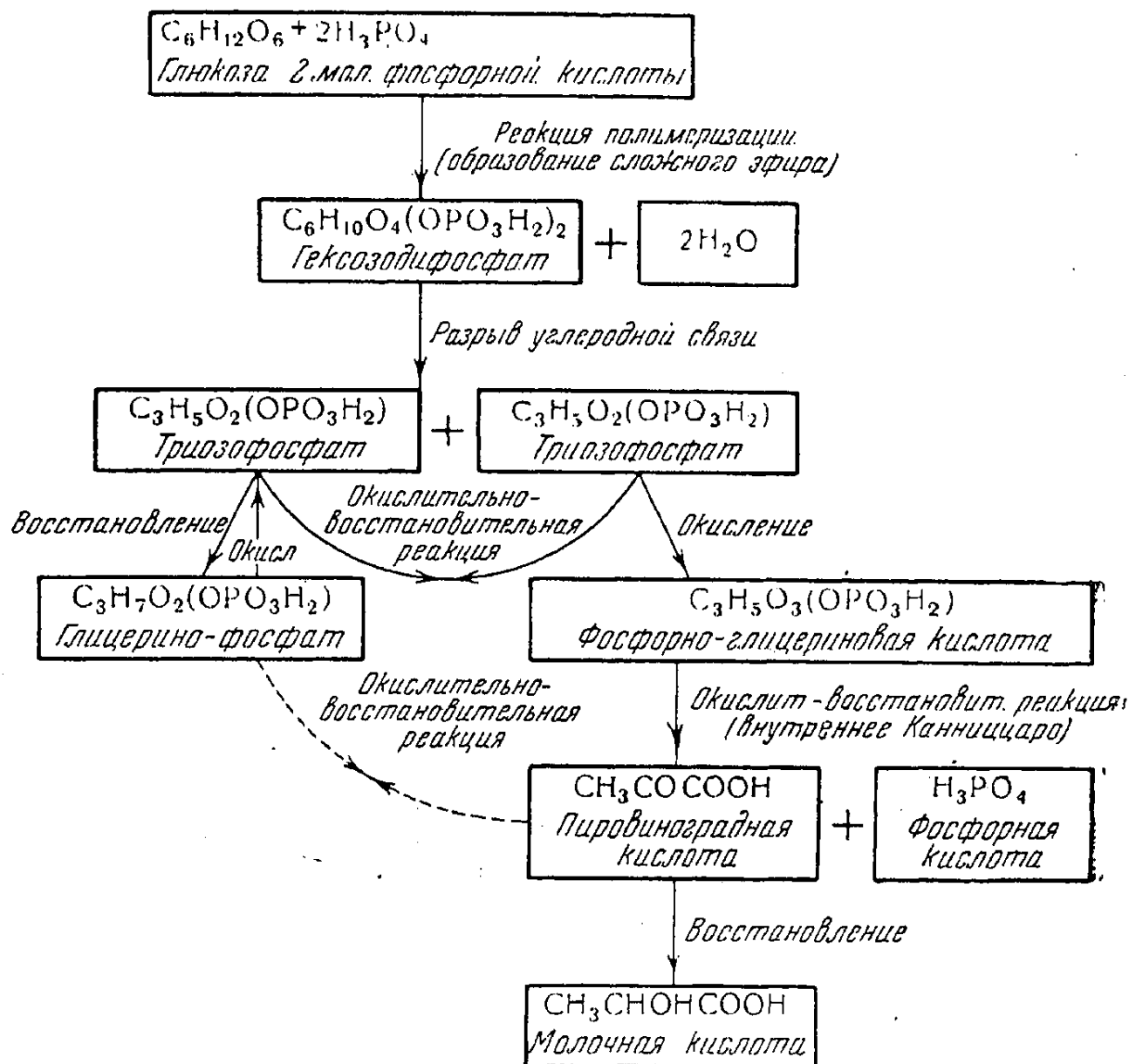


Рис. 3. Схема молочнокислого брожения.

лоссального разнообразия отдельных органических веществ, которые мы находим в живых клетках, окружающих нас организмов. Если в цепи химических превращений мы имеем вначале реакцию конденсации, за нею окислительный процесс, а дальше опять конденсацию, то мы получаем одно химическое соединение, один конечный продукт реакции. Наоборот, если после конденсации шла полимеризация, за полимеризацией окисление или восстановление, дальше мы имели гидролиз, то получается другое вещество и т. д.

Итак, сложность и разнообразие веществ, возникающих в живой клетке, обусловлено лишь сложностью и разнообразием комбинаций простейших реакций трех указанных нами выше типов. Но внимательное рассмотрение этих реакций показывает, что все они имеют одну общую характерную черту, одну общую особенность — все они совершаются при непосредственном участии воды. Частицы воды (гидроксил и водород) или присоединяются к углеродным атомам молекулы органического вещества, или, наоборот, отрываются, отщепляются от нее. При этом нужно отметить, что вода играет здесь активную роль. По существу, все описанные реакции можно рассматривать как взаимодействие между водой и органическими веществами. Именно благодаря указанному взаимодействию и осуществляются все бесчисленные превращения органического вещества, которые происходят в настоящее время в естественных условиях в организмах. Только здесь эти реакции протекают с очень большой скоростью и с определенной последовательностью, благодаря наличию в живой клетке катализаторов-ферментов и некоторых особых условий, которых мы коснемся несколько позднее. Но и без них взаимодействие между водой и органическими веществами, хоть и медленно, но происходит. Следовательно, достаточно иметь в своем распоряжении указанные выше простейшие органические вещества и воду, чтобы в принципе располагать всем необходимым для построения сложнейших и разнообразнейших органических соединений, всех тех соединений, которые образуют материал, лежащий в основе «живого вещества».

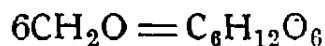
Конечно, в том растворе простейших органических веществ, который содержался в первичном океане, не было и не могло быть отмеченного нами выше определенного порядка, определенной последовательности химических превращений. Этот порядок может возникать только на основе известной организации живого вещества. Здесь пути дальнейшего превращения каждого промежуточного продукта строго определены, что и создает предпосылки для таких гармоничных, направленных процессов, какими является, например, вышеописанный процесс спиртового брожения. В простом же гомогенном водном растворе органические вещества могут одновременно претерпевать целый ряд химических изменений, идти весьма разнообразными химическими путями и давать большое число различных продуктов реакции. Поэтому здесь разбираемые взаимодействия органических веществ и воды должны были носить еще довольно хаотический характер, здесь должны были проявляться в большей или меньшей степени все те потенциальные возможности, которыми наделены указанные вещества.

Однако в этом хаосе разнообразнейших реакций уже тогда должны были намечаться известные тенденции, известная суммарная направленность, которую мы легко можем подметить на основании изучения поведения органических веществ при про-

стом хранении их водных растворов. Эта тенденция сводится к тому, что в указанных растворах происходит полимеризация и конденсация простейших органических веществ, происходит образование и накопление все более и более сложных высокомолекулярных соединений.

Еще известный французский химик П. Сабатье [17] на основании громадного фактического материала указывал, что простейшие кислородные производные углеводородов и в особенности «альдегиды обладают исключительной склонностью к полимеризации. Достаточно к ним прибавить следы различных веществ, как образуется уплотненная молекула или через связь углеродных атомов, или через атом кислорода». И, напротив, «деполимеризация, — пишет он далее, — является гораздо более редким явлением, чем полимеризация, так как полимеры вообще имеют более устойчивое молекулярное состояние».

Это положение Сабатье подтверждается громадным количеством синтезов, многие из которых протекают в результате простого хранения водных растворов органических веществ. Для примера напомним классический синтез А. Бутлерова [18], получившего в 1861 г. при действии известковой воды на формальдегид сладкий сироп, показывающий все обычные реакции на простейшие сахара. Химическая природа полученного Бутлеровым соединения была разъяснена лишь почти 30 лет спустя Э. Фишером, который показал, что реакция идет по суммарному уравнению:



и что в результате ее действительно образуется сахар (гексоза). О. Лев [20], несколько видоизменив условия опыта Бутлерова, получил раствор сахара, способный сбраживаться дрожжами, т. е. способный служить питательным субстратом для гетеротрофных микроорганизмов. Г. и А. Эйлер осуществили ту же реакцию, просто оставляя стоять чистый водный раствор формальдегида в присутствии мела. При этом они получили значительные выходы сахара и показали, что сначала происходит конденсация формальдегида в гликолевый альдегид:



а затем уже этот последний образует сахар.

Описанная реакция конденсации формальдегида и гликолевого альдегида является основой, на которой покоится вся химия углеводов, соединений, имеющих такое выдающееся значение в обмене веществ у ряда живых существ. Мы видим, как легко, «самопроизвольно» протекает эта реакция в водной среде. Наличие такого катализатора, как известь или мел, конечно, всегда обеспечена в естественных условиях, в частности, и в водах первичного океана.

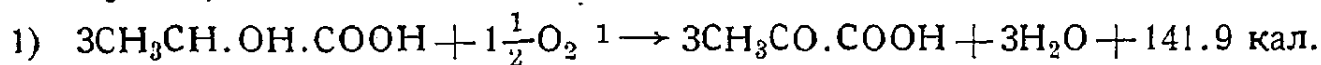
В качестве примера реакции полимеризации можно привести синтез Т. Курциуса [22], осуществленный им в 1904 г. Указан-

ный автор оставлял стоять водный раствор сравнительно простого органического соединения — этилового эфира гликоколя. При этом «самопроизвольно» при комнатной температуре образовывался глицин-ангидрид, — соединение, в котором две молекулы гликоколя связаны между собой через атомы азота полипептидной связью, т. е. таким же путем, как связаны отдельные аминокислоты в молекуле белка.

Такого же рода реакции полимеризации и конденсации протекали в той смеси водных растворов формальдегида и цианистого калия, которую А. Бах [23] оставлял на длительное время стоять в лаборатории. При этом образовывались высокомолекулярные соединения, дававшие биуретовую реакцию и близкие по своим свойствам к пептонам. Если путем диализа очистить полученный таким образом продукт, то на его растворе можно разводить гнилостные бактерии, как на питательном субстрате. Следовательно, таким простым путем могут быть синтезированы вещества, годные в качестве пищи для микроорганизмов, способных развиваться только на органических средах.

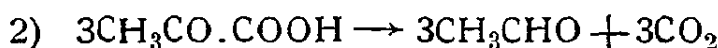
Весьма интересное освещение получил разбираемый нами вопрос благодаря работам В. Таусона [24], который подошел к нему с энергетической точки зрения. Таусон высказывает парадоксальную на первый взгляд мысль, что в основе всех главнейших синтезов, идущих внутри разнообразных организмов, лежат экзотермические процессы. Только совершающийся в зеленых растениях фотосинтез требует для своего осуществления притока энергии извне. Все же синтезы, которые идут гетеротрофно за счет готовых органических соединений, протекают с выделением энергии даже в том случае, когда при этом образуются более сложные вещества, с более высоким энергетическим уровнем, чем исходные.

Для иллюстрации этого положения Таусон дает следующую схему синтеза глюкозы из молочной кислоты:



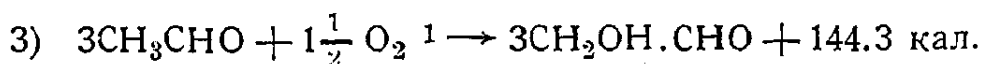
Молочная кислота

Пировиноградная кислота



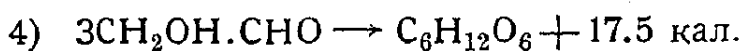
Пировиноградная
кислота

Ацетальдегид



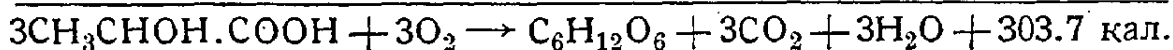
Ацетальдегид

Гликолевый
альдегид



Гликолевый
альдегид

Глюкоза



¹ Здесь происходит не непосредственное присоединение свободного кислорода, а присоединение кислорода воды, идущее в результате окислительно-восстановительного процесса (реакция Канниццаро).

Эта схема интересна с той точки зрения, что все изображенные на ней последовательные реакции совершаются экзотермично, с выделением очень значительных запасов энергии. Только реакция вторая (декарбоксилирование пировиноградной кислоты) сопровождается освобождением лишь небольшого количества энергии, которое поэтому не изображено на схеме. Таким образом, все эти реакции могут осуществляться «самопроизвольно», без какого-либо притока энергии извне, так сказать, на свой собственный счет. Несмотря на это, у нас из сравнительно простого соединения (молочной кислоты) получается более сложное (глюкоза), каждая молекула которого наделена большим запасом энергии, чем молекула исходного вещества. Это зависит от того, что в процессе декарбоксилирования отщепляется и удаляется в виде углекислоты наиболее окисленная часть молекулы.

Главнейшими реакциями, ведущими к синтезу разнообразных, весьма сложных и высокомолекулярных органических веществ, являются: 1) конденсация альдегидов, 2) окислительно-восстановительные реакции (типа Канницаро) и 3) реакция декарбоксилирования. Все они идут с выделением большего или меньшего количества энергии. Так, например, отмечавшаяся нами выше реакция конденсации ацетальдегида в альдоль протекает с выделением 5.3 калорий на моль образующегося альдоля:



Все окислительно-восстановительные процессы тоже связаны с еще большим выделением энергии, что легко установить, если сводить энергетический баланс для всей реакции в целом, т. е. как для ее восстановительной части, так и для части, связанной с окислением.

Эти энергетические соображения делают понятным, почему при хранении водных растворов альдегидов и других простейших органических веществ в присутствии элементарных неорганических катализаторов мы получаем образование сложных и высокомолекулярных соединений.

Точно так же и в теплых водах первичной земной гидросферы, где были растворены простейшие производные углеводов, должны были протекать такого же рода реакции. У нас нет никаких оснований отрицать, что эти реакции, в общем, ничем по существу не отличались от тех химических взаимодействий, которые в настоящее время мы можем воспроизвести в наших лабораториях. Поэтому можно смело утверждать, что в любой точке тогдашнего океана, в любом тогдашнем водоеме, лагуне или высыхающей луже могли образовываться те сложные высокомолекулярные органические вещества, которые получались в колбе Бутлерова, в стакане Курциуса, в смеси Баха и в ряде других подобных синтезов.

Последовательная конденсация ацетальдегида, ряд окисли-

тельно-восстановительных превращений и другие реакции, приводящие к постепенному усложнению органического вещества, протекали здесь экзотермически со значительным выделением энергии. Поэтому уже просто в силу закона энтропии равнодействующая всех хаотически идущих реакций, которые совершались в первичном океане, была направлена в сторону синтеза все более и более сложных и высокомолекулярных соединений, хотя на ряду с ними уже и тогда начала образовываться углекислота и другие вещества с пониженным энергетическим уровнем.

Описанные выше синтезы сложных органических веществ должны были сначала протекать сравнительно медленно. В значительной степени их скорость определялась наличием тех или иных неорганических катализаторов типа солей железа, меди, кальция и т. д., которые в изобилии присутствовали в водах первичного океана. Но постепенно в связи с возникновением все новых и новых органических соединений эта скорость должна была существенно увеличиваться.

Недавно появившиеся весьма интересные работы А. Кузина показывают, что целый ряд перечисленных выше реакций может значительно ускоряться в присутствии определенных органических соединений. В частности Кузин [25] подробно разобрал механизм вышеприведенной реакции конденсации формальдегида в сахар. При этом было показано, что в качестве катализаторов, весьма сильно увеличивающих скорость этой реакции, могут быть применены фруктоза, глюкоза и другие вещества, дающие эндиольную группировку. При самопроизвольном течении процесса катализатором служит энольная форма гликолевого аль-

дегида $\begin{matrix} \text{ОН} & \text{ОН} \\ | & | \\ \text{H.C} = \text{C.H} \end{matrix}$, которая возникает на первых стадиях описанной реакции.

В другой работе Кузин [26] показал, что за счет каталитического действия органических веществ могут быть значительно ускорены и реакции полимеризации, в частности, — добавление различных сахаров к раствору эфира гликоколя весьма значительно увеличивает скорость образования полипептидных связей в вышеописанной реакции Курциуса. По данным того же автора, сам гликоколь, как и другие аминокислоты, может катализировать целый ряд интересных с разбираемой точки зрения реакций, как, например, окисление ацельдегида в гликолевый альдегид [27], окисление кетокислот [28], конденсацию ацетона [29] и т. д. Наконец, еще раньше В. Лангенбеком [30] было показано, что тот же гликоколь и другие амины значительно ускоряют реакцию декарбоксилирования пировиноградной кислоты, реакцию, которая имеет такое существенное значение в цепи вышеприведенных экзотермических синтезов.

Кратко подводя итоги всему сказанному, мы приходим к сле-

дующему заключению: первично возникшие на земной поверхности простейшие органические вещества, будучи растворены в водах земной гидросферы, должны были претерпевать целый ряд химических изменений и превращений. Эти реакции в указанных условиях носили в достаточной степени хаотический характер, но уже с самого начала здесь проявлялась определенная общая тенденция к синтезу все более и более сложных и высокомолекулярных соединений. Указанное постепенное усложнение строения органических веществ должно было происходить «самопроизвольно», экзотермически. В основе его лежали те же реакции: конденсации, полимеризации, окисления, восстановления и декарбоксилирования, которые определяют собой ход синтеза органических веществ и в современных нам организмах. В силу этого в теплых водах первичного океана должны были возникнуть разнообразные высокомолекулярные органические соединения, подобные тем, которые мы встречаем сейчас в телах животных и растений. Эти соединения послужили тем материалом, из которого впоследствии образовались живые существа.

Говоря о первичном возникновении указанных органических соединений, мы должны более детально остановиться на двух весьма важных моментах: во-первых, на возникновении асимметрии, или «правизны-левизны» (по терминологии В. Вернадского [31]), и во-вторых, — на первичном возникновении белковых веществ.

Как известно, многие органические соединения могут существовать в двух очень похожих друг на друга формах. Их молекулы составлены из одних и тех же атомов и даже из одних и тех же атомных группировок, но эти группировки по-разному расположены в пространстве. Если какой-нибудь радикал одной формы нашего соединения расположен вправо, то такой же точно радикал второй формы расположен влево, и наоборот. Простейшей моделью таких диссимметрических молекул могут служить две наших руки. Если мы положим их перед собой ладонями вниз, то увидим, что при всем своем сходстве правая и левая рука глубоко отличаются одна от другой расположением отдельных частей. Если большой палец правой руки направлен влево, то этот же палец на левой руке расположен вправо и т. д. Таким образом, каждая рука является как бы зеркальным изображением другой.

При искусственном синтезе органических веществ мы всегда получаем равномерную смесь обеих форм диссимметрических молекул (рацемат). Это вполне понятно, так как образование той или иной формы — правого или левого антипода при химической реакции зависит от того, который из двух атомов, расположенных вправо и влево от плоскости симметрии будет замещен новыми атомными группировками. Но из самого понятия симметрии вытекает, что оба эти атома находятся под влиянием совершенно

тождественных сил. Поэтому вероятность образования того или другого антипода совершенно одинакова. А так как при химических реакциях приходит во взаимодействие такое количество молекул, к которым вполне применим закон больших чисел, то возникновение избытка одного из антиподов является совершенно невероятным, и мы действительно его никогда не наблюдаем в безжизненной материи.

Однако в живых организмах мы всегда встречаемся с образованием и накоплением одного какого-нибудь антипода [32]. Если данный организм вырабатывает вещество с диссимметрической молекулой, то он почти всегда образует только одну его форму. Антипод этого вещества или совсем не встречается в живой природе, или (что бывает реже) вырабатывается каким-нибудь другим организмом. Так, например, *Blumea balsamifera* образует левый антипод борнеоля, а *Dryobalanops camphora* — правую форму этого соединения [33]. Однако жизненно необходимые вещества всегда встречаются в одной какой-нибудь форме. Так, например в состав естественных белков всегда входит левая форма аминокислот. Весьма интересным исключением из этого правила является недавно открытый Ф. Кёглем [34] факт, что в белках раковых опухолей содержится правая форма аминокислот.

Эта способность протоплазмы образовывать и накапливать только один антипод диссимметрических молекул и обуславливает собою асимметрию живого вещества, которая является чрезвычайно характерным признаком всех живых организмов и которая отсутствует в косной материи [35]. На это обстоятельство указывал еще Пастер, считавший, что «этот признак является, может быть, единственной резкой границей, которую можно в настоящее время провести между химией мертвой и живой природы». В наше время эта мысль в особенности была развита В. Вернадским [37]. Вернадский указывает, что правые и левые формы одного и того же химического соединения оказываются химически идентичными в косных телах, но различными в живых. Вследствие этого все продукты, которые возникают в результате реакций, идущих в безжизненной материи, всегда рацемичны, т. е. содержат одинаковое количество правого и левого антипода. Те же вещества, которые образуются в результате биохимических процессов, вследствие указанного выше химического различия антиподов внутри живых тел, будут асимметричными, в них будет преобладать либо правый, либо левый антипод.

Согласно Вернадскому, эта химическая неидентичность правой и левой формы внутри живых тел обусловлена тем, что этим последним присуще особое состояние космического пространства. В этом состоянии пространства Вернадский видит коренное «непереходимое» материально энергетическое различие между живой и косной материей. Такое состояние пространства,

занятого телом живого организма, создается только от заранее существующих живых естественных тел, т. е. может возникать только в результате рождения.

Следуя по этому пути, мы в конечном итоге должны будем прийти к выводу, что не только никогда не могли первично возникнуть живые существа, но даже не могли образоваться и те формы органических веществ, из которых построена протоплазма, поскольку этой последней свойственно явление асимметрии. Однако детальное ознакомление с относящимися к данному вопросу фактами не позволяет нам согласиться с такого рода заключением.

Уже Пастер [38] наметил те пути, по которым может совершаться возникновение асимметрических веществ в природе. По его мнению, это может происходить при наличии какого-либо иного асимметрического вещества, или же в результате действия какого-то асимметрического физического фактора. Позднее первая часть этого положения была развита Э. Фишером [39] применительно к синтезу углеводов и других органических веществ в клетках растений. Фишер считал, что асимметрия этих веществ возникает вследствие того, что самый их синтез происходит в организмах под влиянием оптически деятельных молекул, например, хлорофилла.

В. Марквальду [40] удалось экспериментально подтвердить эту мысль и действительно получить оптически деятельное вещество при помощи асимметрического синтеза в том смысле, какой придавал этому слову Фишер. Для этого он использовал естественное асимметрическое вещество: алкалоид — бруцин. Марквальд присоединял его к оптически недеятельной метилэтилмалоновой кислоте и затем разлагал полученную таким образом соль нагреванием. При этом разрушалась свободная (незанятая бруцином) карбоксильная группа, затем бруцин отщеплялся, и в результате получалась оптически деятельная левая метилэтилуксусная кислота.

Позднее Мэк-Кензи [41], идя по тому же пути, осуществил целый ряд асимметрических синтезов. Таким образом, располагая асимметрическим веществом, мы при его помощи можем получать и другие асимметрические соединения. Особенно интересны с указанной точки зрения работы школы Г. Бредига [42] по асимметрическому синтезу при помощи катализатора, включающего в себе асимметрическое вещество. Так, например, Г. Бредиг и М. Минаев [43] показали, что если вести присоединение синильной кислоты к альдегидам, при каталитическом действии хинина или хинидина, то получается в одном случае правый, а в другом левый изомер циангидрина.

Катализаторы живой клетки — ферменты являются асимметрически построенными веществами. Поэтому обусловливаемый ими синтез должен тоже приводить к образованию асимметрических веществ. Это, действительно, и удалось осуществить мно-

гим авторам, в частности — К. Нейбергу при работе с дрожжевыми редуكتазами, карболигазой, альдегидмутазой и другими ферментами [44].

Таким образом, в настоящее время для нас более или менее ясны те пути, по которым идет возникновение асимметрических веществ внутри живых организмов. Правда, в недавнее время Вернер Кун [45] показал, что простых законов асимметрического синтеза еще недостаточно для того, чтобы объяснить весьма совершенное поддержание и распространение состояния асимметрии, которое мы имеем в протоплазме. Но все же сейчас не подлежит сомнению, что в живых организмах асимметрические вещества возникают под влиянием асимметрически построенных ферментов и эта асимметрия затем закрепляется благодаря особой специфической организации протоплазмы, на которой мы остановимся позднее [46].

Однако изложенное объяснение возникновения асимметрических веществ в живой протоплазме не снимает вопроса о первичном асимметрическом синтезе, потому, что для всех вышеуказанных синтезов было необходимо наличие уже готового асимметрического вещества. Этот вопрос был особенно остро поставлен Ф. Джеппом еще на грани XIX—XX вв. Джепп [47] в своей статье «Стереохимия и витализм» категорически отрицал самую возможность первичного асимметрического синтеза и заявлял, что оптически деятельная молекула могла произойти только с помощью «жизненной силы». Она, как и живое существо, может родиться только от другой оптически деятельной молекулы, первично же вне организмов асимметрии никогда не возникает.

Это утверждение оказалось неверным, так как асимметрические вещества могут образовываться и под влиянием асимметрических физических факторов. Как мы указывали выше, еще Пастер совершенно ясно представлял себе это. По его мнению, указанным фактором могло быть магнитное поле Земли. Поэтому он пытался осуществить асимметрический синтез в поле сильного магнита. Это ему не удалось, так как и магнитное поле и вращение Земли являются факторами симметричными. Но в дальнейшем Вант-Гофф [48] очень удачно указал на поляризованный по кругу свет как на возможную причину образования в природе асимметрических веществ.

В настоящее время благодаря работам А. Быка [48] мы знаем, что такой свет в естественных условиях действительно существует на Земле. Дело в том, что свет неба является частично плоско поляризованным. Отражаясь от поверхности воды, он превращается в эллиптически поляризованный. В результате ряда причин мы имеем на земной поверхности преобладание правого эллиптически поляризованного света. Работами В. Куна, Э. Брауна, Э. Кнопфа [50], а затем С. Митчеля [51] было показано, что правый или левый циркулярно или эллиптически поля-

ризованный свет, применяемый при фотохимическом разложении рацематов или при органических синтезах, приводит к появлению в лабораторных условиях оптически активных растворов. Таким образом, мы имеем здесь фактически первичное появление асимметрических систем без участия живых организмов. Это же явление должно было иметь место и в природных условиях в результате воздействия того же агента (эллиптически поляризованного света). В дальнейшем изложении мы покажем, в результате каких причин эта первично возникшая асимметрия органических веществ была закреплена в протоплазме и какую существенную роль она играет в общей организации живого вещества [46].

Говоря о первичном возникновении различных сложных органических соединений в водной оболочке Земли, мы должны обратить особое внимание на образование в этих условиях белковых веществ. Белкам принадлежит решающая роль в организации живой протоплазмы. Еще Энгельс высказал положение, согласно которому: «повсюду, где имеется жизнь, мы находим, что она связана с белковым телом, и повсюду, где имеется белковое тело, не находящееся в процессе разложения, мы встречаем без исключения и явления жизни».¹ Еще сравнительно недавно белки рассматривались рядом естествоиспытателей лишь как пассивный строительный материал протоплазмы. Но данные последних лет показывают, что белковые вещества принимают непосредственное активное участие в обмене веществ и в ряде других жизненных явлений. Поэтому возникновение белков является чрезвычайно важным звеном в том эволюционном процессе развития материи, который привел к возникновению живых существ.

В конце прошлого и начале настоящего века, когда химия белков еще не была в достаточной степени разработана, ряд биологов, как Пфлюгер, Рубнер, Ферворн [52] и др., предполагали наличие в белках какого-то особого таинственного начала, каких-то специфических атомных группировок, которые являются носителями жизни. С этой точки зрения первичное возникновение белков представлялось весьма загадочным и даже мало вероятным. Но, если подойти к этому вопросу с точки зрения современных химических представлений о белковой молекуле, дело представится в совершенно ином свете.

Кратко суммируя все достижения, которые получены белковой химией со времен Эмиля Фишера до наших дней (см. сводки Г. Марка [53], К. Феликса [54] и М. Бергмана [55] и др.), мы должны здесь в особенности подчеркнуть следующие положения. Во-первых, в настоящее время может считаться прочно установленным, что основными «кирпичиками», из которых построена белковая молекула, являются аминокислоты. Если мы и

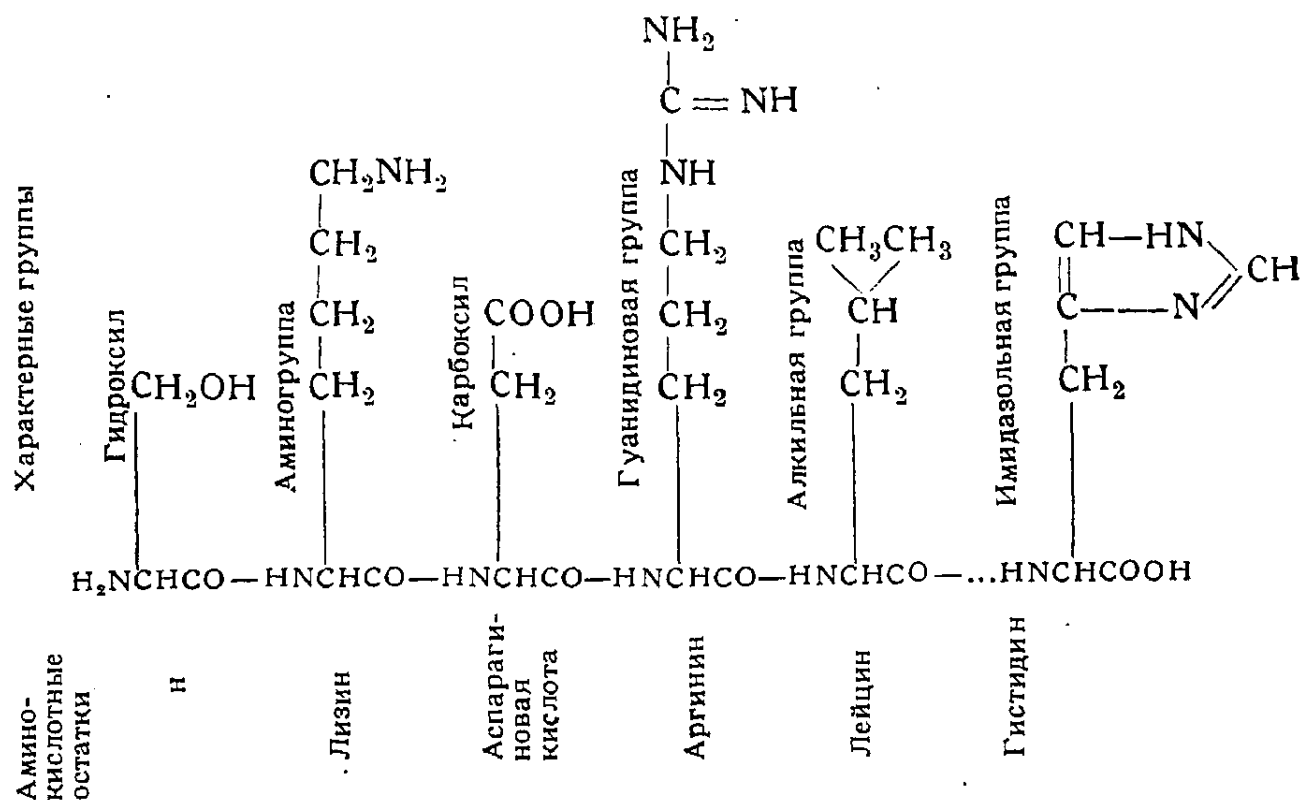
¹ Ф. Энгельс. Антидюринг, стр. 57, Партиздат, 1934.

встречаем в составе отдельных белков иные атомные группировки, то не они являются характерными для белков вообще. Специфическими составными частями белка как такового, несомненно, служат аминокислоты. Сейчас нам известно около 27 различных аминокислот, входящих в состав естественных белков. Конечно, не каждый белок содержит в себе все аминокислоты, — некоторые из них встречаются весьма редко. Другие же, наоборот, широко распространены и присутствуют почти в каждой белковой молекуле. Такое большое разнообразие «строительных кирпичей», составляющих белковую молекулу, является существенной причиной разнообразия форм и функций белка. Этим белок принципиально отличается от других многоатомных полимерных органических соединений, как, например, клетчатка, крахмал и пр. Хотя в состав частиц этих последних и входит большое число «строительных кирпичей», но все они являются одинаковыми.

Второе положение, которое мы должны здесь отметить, касается тех связей, при помощи которых отдельные аминокислоты соединены между собой в белковой молекуле. Углубленные исследования последних лет с полной определенностью подтвердили те взгляды, которые были на этот счет развиты еще Э. Фишером. Важнейшими характернейшими связями, соединяющими аминокислотные остатки внутри белковой молекулы, являются пептидные связи, в которых аминогруппа одной аминокислоты соединена с карбоксильной группой другой аминокислоты. Получающаяся при этом пептидная цепочка и образует основной каркас белковой молекулы. Остальные атомные группировки аминокислот остаются свободными. Даже в том случае, если мы имеем аминокислоту с двумя карбоксилами или с двумя аминными группами, то только одна из них входит в состав пептидной цепи, а другая остается свободной, несвязанной. Для примера мы даем здесь следующую произвольно составленную пептидную схему (см. стр. 124).

Таким образом, мы должны представить себе дело так, что из пептидных цепей белка выступает ряд боковых цепей, представленных теми частями аминокислот, которые не связаны внутри пептидной цепи. Эти свободные, как бы торчащие из пептидной цепи группы обуславливают собой исключительную реакционную способность белков, те колоссальные химические возможности, которыми наделены эти тела. Так, например, свободные гуандиновые группы аргинина могут входить в соединения с сахарами, оксифенольный остаток тирозина и имидазольное кольцо гистидина присоединять иод, гидроксильные группы серина замещаются кислотой, в особенности часто фосфорнокислыми остатками, свободные карбоксильные группы дикарбоновых кислот могут амидироваться. На ряду с этим свободные основные и кислотные группы легко образуют соли с кислотами и основаниями и т. д.

При этом нужно иметь в виду тот недавно установленный исключительно важный факт, что аминокислоты, включаясь в пептидную цепь, значительно повышают реакционную способность своих свободных групп. Так, например, цистеин, находясь в полипептидах, легче отщепляет сероводород, чем он это делает сам по себе. То же самое относится и к серину, который в полипептидах может отщеплять воду. В некоторых случаях ами-

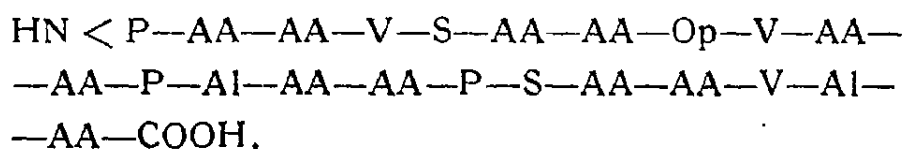


нокислоты, включаясь в пептидную цепь, даже приобретают новые химические качества, в значительной степени зависящие от того места, которое занимает данная аминокислота в пептидной цепи. При этом весьма существенно, находится ли рядом с данной аминокислотой алкильная группа лейцина, карбоксильная группа аспарагиновой кислоты, аминная группа лизина и т. д., так как эти группы будут совершенно определенным образом ориентировать в пространстве молекулу реагирующего с нашей аминокислотой вещества.

Третье недавно установленное, — главным образом благодаря работам М. Бергмана и К. Феликса, — положение сводится к тому, что в естественных белках аминокислоты располагаются в пептидной цепи в определенной характерной для данного белка последовательности. Именно эта последовательность в значительной степени определяет собой химические и биологические свойства данного белка. Так, например, целый ряд весьма биологически активных веществ (инсулин, гормоны гипофиза, токсические белки, протеолитические ферменты и т. д.), повидимому, представляет собой только белковые вещества, целиком построенные из аминокислот, и их специфическое действие обусловлено именно особым порядковым расположением аминокислот.

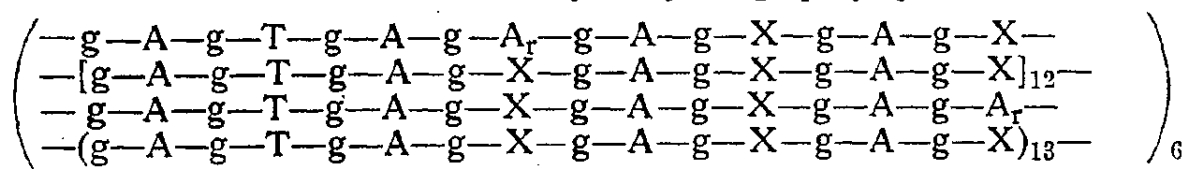
Конечно, не зная в деталях этого порядка расположения, не приходится и думать об искусственном синтезе того или иного конкретного белка.

К сожалению, в настоящее время удалось установить указанный порядок аминокислот только для некоторых, наиболее просто устроенных и содержащих в своей молекуле наименьшее разнообразие аминокислот белковых веществ. В частности, это удалось сделать Феликсу [56] и его сотрудникам в отношении протамина спермы селедки — клюпеина. Клюпеин является одним из наиболее просто устроенных белков. Его молекулярный вес равен 4470, тогда как молекулярные веса других белков выражаются десятками и даже сотнями тысяч. В состав частицы клюпеина входит 33 аминокислотных остатка, а именно 22 молекулы аргинина, 2 молекулы аланина, 2 молекулы серина, 3 молекулы пролина, одна молекула оксипролина и 3 молекулы валина или подобной ему моноаминокислоты. Взаимопоследовательность этих аминокислот в пептидной цепи клюпеина можно видеть на прилагаемой схеме.



где AA обозначает аргинил — аргинин, Al — аланин, S — серин, P — пролин, Op — оксипролин и V — валин. Эта формула правильно передает все экспериментальные данные, произвольным является еще только распределение моноаминокислот. Возможно, что всегда рядом стоят одинаковые аминокислоты.

На основании ряда данных, Бергман [55] установил, что и у сложных белков существует подобное же периодическое построение пептидных цепей и каждая входящая в эту цепь аминокислота соответствующим образом регулярно в ней повторяется. Так, например, для фиброина шелка, обладающего молекулярным весом 217 700 и содержащего в своей молекуле 2592 аминокислотных остатка, он дает следующую формулу:



где g — гликокол, A — аланин, T — тирозин, Ar — аргинин и X — еще неустановленная аминокислота.

Таким образом, каждый аминокислотный остаток повторяется в молекуле белка через определенный интервал, т. е. обладает определенной частотой. Так, например, гликокол представляет собой каждый второй аминокислотный остаток в пептидной цепи фиброина. Аланин является каждым четвертым остатком, тирозин — каждым шестнадцатым и аргинин — каждым двести шестнадцатым остатком.

Такая же частота повторяемости аминокислотных остатков, такой же ритм строения характерен и для других белковых веществ, только здесь дело обстоит еще несравненно сложнее, так как число разнообразных аминокислот здесь значительно больше, чем это имеет место в фиброине, состоящем главным образом всего лишь из гликокола, аланина, тирозина и аргинина. Так, например, для глобина¹ бычьей крови Бергман дает следующее число некоторых аминокислотных остатков, приходящихся на одну молекулу белка:

Лизин	36
Гистидин	32
Аспарагиновая кислота . . .	32
Глютаминовая кислота . . .	16
Тирозин	12
Пролин	12
Аргинин	12
Цистеин	3

Всего в молекуле глобина содержится 576 аминокислотных остатков. Совершенно ясно, что здесь последовательность отдельных аминокислотных остатков в пептидной цепи должна быть значительно сложнее, чем это имеет место в фиброине, и, повидимому, эта последовательность может в известных пределах вариировать в зависимости от вида того животного, из крови которого получен данный глобин.

Рентгеноскопические исследования показывают, что в фиброине шелкового волокна пептидная цепочка растянута в виде простой молекулярной нити [57]. Но это характерно только для фиброина, в составе которого, как мы видели выше, преобладают аминокислоты с очень слабо развитыми боковыми цепями (гликокол и аланин). В большинстве других, наиболее типичных белков, где эти аминокислотные цепи являются весьма большими и разнообразными, пептидная цепочка, вследствие их взаимодействия, сильно скручивается, благодаря чему здесь получают не нити, а закономерные построенные клубки, так называемые «глобули», форма которых приближается к шаровидной [58]. Каждая такая глобуля представляет собой молекулу белка, обладающую определенным характерным для данного вида белка молекулярным весом. Для различных представителей белковых тел молекулярный вес колеблется в пределах от нескольких тысяч до нескольких сот тысяч [59]. Детали строения и коллоидные свойства белковых частиц будут изложены в следующей главе. Здесь же мы только подчеркиваем то обстоятельство, что возникновение белковой молекулы, глобули, является обяза-

¹ Красное вещество крови — гемоглобин — состоит из красящего компонента, гемина, который одинаков у всех животных, и белка — глобина, который является характерным для данного вида и отличается от глобинов других животных как по своей кристаллической форме, так и по химстроению.

тельным следствием возникновения пептидной цепи, наделенной хорошо развитыми и разнообразными боковыми группами аминокислотных остатков.

Мы остановились здесь несколько более подробно на химии белков для того, чтобы показать, что образование такого рода органических соединений в первичной земной гидросфере не требовало каких-либо исключительных специфических условий, кроме тех, которые уже были изложены нами выше. На самом деле, данные последних лет убедительно показывают, как легко из аммиака и соответствующих органических кислот может возникать сперва аспарагиновая кислота, а затем путем переаминирования и целый ряд других аминокислот, входящих в состав белковой молекулы [60]. Точно так же и соединение этих аминокислот в пептидные цепи в условиях водного раствора не встречает каких-либо существенных принципиальных затруднений. Прямым следствием образования пептидных цепей является их скручивание в клубки и вследствие этого возникновение белковых молекул [61]. Таким образом, все реакции, которые лежат на пути к построению белковой молекулы, вообще нам более или менее хорошо известны и сравнительно легко воспроизводимы. Трудность синтеза того или иного конкретного белка состоит главным образом в том, что этот белок, возникший внутри организма, в результате длительной эволюции, обладает совершенно определенной последовательностью, расположением аминокислот в своей пептидной цепи, определенным ритмом строения. Воспроизвести именно этот ритм, нанизать многие сотни и даже тысячи аминокислотных остатков в совершенно определенной последовательности и не удалось еще до настоящего времени органической химии. Однако приведенные нами выше данные Феликса и Бергмана показывают, насколько мы уже приблизились к разрешению этой задачи, по крайней мере, в отношении наиболее просто устроенных белковых тел.

Данные современной химии белков убеждают нас в том, что в первичной земной гидросфере могли и должны были возникнуть белковоподобные соединения. Конечно, эти соединения не были вполне идентичны с каким-либо из существующих конкретных белков. Расположение аминокислотных остатков в «первичных белках» было иное, может быть, даже случайное, более или менее беспорядочное, но тем не менее основные свойства белковой молекулы, ее состав, характер связей, размеры здесь уже были налицо.

Рассмотрение химии белков позволяет нам ответить и еще на один чрезвычайно существенный вопрос, почему именно белки занимают такое исключительное положение в организации протоплазмы и играют такую выдающуюся роль в жизни всех организмов. Ни одно из известных нам органических соединений не обладает такими колоссальными химическими возможностями, какими наделен белок. Как мы видели выше, многочисленные и

весьма разнообразные боковые цепи различных аминокислот позволяют белковым веществам реагировать и вступать в соединения с очень большим числом разнообразных молекул небелкового характера. Характер этих взаимодействий может варьировать на сотни и тысячи ладов в зависимости от порядка расположения аминокислот пептидной цепи. Расположение гидрофобных (алкильных) и гидрофильных групп определяет ту связь, которая существует у белковой молекулы с окружающими ее частицами воды. Легкая спаиваемость между собой отдельных аминокислот в пептидные цепи и скручивание этих цепей в глобулы обуславливают возникновение громадных частиц, что придает водному раствору белков коллоидный характер. Все это создало для белковых веществ наибольшие предпосылки для перехода в процессе эволюции материи на более высокую ступень организации вещества, для превращения их в те специфические коллоидные образования, которые лежат на пути возникновения живых существ из органических соединений.

Углеродный атом солнечной атмосферы еще не является органическим веществом. Но в исключительной способности этого элемента образовывать длинные атомные цепи и вступать в соединения с водородом, кислородом и азотом кроется возможность для него при известных условиях существования дать начало для образования органических веществ. Аналогичным образом и препарат того или иного белка, полученный синтетически или выделенный в чистом виде из живой ткани, если мы будем рассматривать его метафизически в отрыве от всей его предыдущей и последующей истории, конечно, еще далеко не является живым. Но именно в белковом веществе с его исключительными химическими особенностями заложены те колоссальные возможности для дальнейшей эволюции органического вещества, которые при определенных условиях обязательно должны были привести к возникновению живых существ. Именно в этом смысле, по нашему мнению, и должна рассматриваться знаменитая формула Энгельса: «Жизнь есть форма существования белковых тел».¹

Итак, в результате взаимодействия между водой и простейшими производными углеводов путем ряда последовательных реакций в первичной водной оболочке Земли должен был образоваться материал, аналогичный тому, из которого в настоящее время построены живые существа. Органические вещества, составляющие этот материал, находились в водах тогдашних морей и океанов в виде бесструктурных растворов. Их частицы были рассеяны, равномерно распределены в растворителе, полностью слиты с окружающей средой. Происходящие здесь реакции

¹ Ф. Энгельс. Антидюринг, стр. 57, Партиздат, 1934.

имели еще сравнительно хаотический характер. В них отсутствовала та строгая последовательность, та тесная взаимосвязь, которая так характерна для биохимических процессов, совершающихся внутри живых организмов.

Таким образом, в этом первично возникшем растворе сложных и разнообразных органических веществ еще отсутствовала какая-либо организация как в пространстве, так и во времени. Это был, действительно, еще только аморфный материал, и для того, чтобы из него возникли простейшие организмы, необходимо было, чтобы этот материал в процессе эволюции материи приобрел определенную организацию, строение. Ближайшим шагом на пути этой эволюции было возникновение коллоидных систем, существование и развитие которых подчинялось более сложным закономерностям, чем те, которые мы имели для простых растворов органических веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Н а е с к е л. *Generelle Morphologie der Organismen*. Berlin, 1866.
2. Н. О s b o r n. *The origin and evolution of life*. London, 1918.
3. В. О м е л я н с к и й. *Основы микробиологии*, 1922.
4. Цит. по А. Ч и ч и б а б и н у. *Основные начала органической химии*, т. I, ст. 89, 1932.
5. Сводку работ см. С. Д а н и л о в. *Журн. общ. хим.* 10, 387, 1940.
6. В. Т а у с о н. *Микробиология*, I, 49, 1932; «*Природа*» № 6, 43, 1934.
7. В. Т а у с о н. *Сб.*, посвящ. К. А. Тимирязеву, изд. Акад. Наук, 1940.
8. А. Ч и ч и б а б и н. *Журн. Русск. физ.-хим. общ.* 47, 703, 1915.
9. W u r t. *C. R.* 74. 1361; 1872; 76, 1165, 1873.
10. С. N e u b e r g и Е. S i m o n. *Erg. d. Enzymforsch.* 2, 118, 1933.
11. Е. F i s c h e r. *Untersuchungen über Aminosäuren, Polypeptide und Proteine*, I и II. Berlin, 1923.
12. C a n n i z z a r o. *Liebigs Ann.* 88, 129, 1853.
13. М. Т r a u b e. *Ber. d. d. chem. Ges.* 15, 659, 2421, 2434; 16, 123, 1883, 18, 1877, 1890, 1885.
14. А. Б а х. *C. R.* 124, 951, 1897; *Журн. Русск. физ.-хим. общ.* XLIV, вып. 2, ст. I, 1912.
15. Н. W i e l a n d. *Mech. d. Oxyd. u. Red. in leb. Substanz*, Hdb. d. Bioch. II. Aufl. 2, 252, Jena, 1923.
16. Сводку по химии брожения см. В. Э н г е л ь г а р д т. *Микробиология*, 8, 324, 1939.
17. П. С а б а т ь е. *Катализ в органической химии*, 52 и 55, Гостеххимиздат, 1932.
18. А. Б у т л е р о в. *C. R.* 53, 145, 1861.
19. Е. F i s c h e r. *Ber. d. d. chem. Ges.* 22, 97, 1889.
20. О. L ö w. *J. pr. Chem.* 33, 321, 1886; *Ber. d. d. chem. Ges.* 22, 475, 1889.
21. Н. и А. Е u l e r. *Ber. d. d. chem. Ges.* 39, 45, 1906.
22. Th. C u r t i u s. *Ber. d. d. chem. Ges.* 37, 1285, 1904.
23. Цит. по личному сообщению А. Б а х а.
24. В. Т а у с о н. *Микробиология*, 8, 1043, 1939. Стенограмма доклада в Академии Наук СССР, июнь 1940.
25. А. К у з и н. *Журн. общ. хим.* 8, 759, 1938.

26. А. Кузин и О. Полякова. Биохимия, 5, 86, 1940.
 27. А. Кузин. Биохимия, 3, 481, 1938.
 28. А. Кузин и Макаева. Биохимия, 4, 449, 1939.
 29. А. Кузин и Н. Невраева. Биохимия, 4, 142, 1939.
 30. W. Langenbeck. Erg. d. Enzymforsch. 2, 314, 1933.
 31. В. Вернадский. Проблемы биогеохимии, IV изд. Акад. Наук, 1940.
 32. А. Семенов. Успехи химии, 2, 225, 1933.
 33. K. Bartelt. Abderh. Bioch. Handlex., 7, 266, 1910.
 34. F. Kögl u. H. Erxleben. Hop. Seylers Zeit. f. physiol. Ch. 258, 57, 1939.
 35. M. Schoen. Problèmes d'Asymétrie dans les Processus Biochimiques. Paris, 1936.
 36. L. Pasteur. Ostwald's Klassiker, № 28.
 37. В. Вернадский. Проблемы биогеохимии, II; изд. Акад. Наук, 1939.
 38. L. Pasteur. Revue scientifique, III, 4, 2, 1884.
 39. E. Fischer. Ber. d. d. chem. Ges. 27, 3231, 1894; Zeit. f. physiol. Chem. 26, 60, 1898.
 40. W. Marckwald. Ber. d. d. chem. Ges. 37, 349, 1904.
 41. A. Mc. Kenzie. J. Chem. Soc. London, 85, 1249, 1904; 87, 1373, 1905; 89, 365, 1906; 91, 1215, 1907.
 42. G. Bredig u. F. Gerstner. Bioch. Zeit. 250, 414, 1932 (см. также K. Fajans. Zeits. physiol. Chem. 73, 25, 1910).
 43. G. Breding u. M. Minaeff. Bioch. Zeit. 249, 241, 1932.
 44. Сводку этих работ см. А. Мс. Kenzie. Erg. d. Enzymf. 5, 43, 1936.
 45. W. Kuhn. Erg. d. Enzymfor 5, I, 1936.
 46. Г. Гаузе. Асимметрия протоплазмы. Изд. Акад. Наук, 1940.
 47. F. Jarr. «Nature», 58, 452, 1898.
 48. J. Van't Hoff. Die Lagerung der Atome in Raume, 1894.
 49. А. Вук. Zeits. physikal. Chem. 49, 641, 1904; Naturwiss. 13, 17, 1925.
 50. W. Kuhn u. E. Braun. Naturwiss. 17, 227, 1929; W. Kuhn u. E. Knopf. Naturwiss. 18, 183, 1930; Zeit. physikal. Chem. (B), 7, 292, 1930.
 51. St. Mitchell. J. Chem. Soc. London, 1829, 1930.
G. Karagunis u. G. Drikos. Zeit. physikal. Chem. (B) 26, 428, 1934.
 52. М. Ферворн. Общая физиология. Москва, 1911.
 53. Г. Марк и Г. Филипп, Успехи химии, 6, 1057, 1937.
 54. K. Felix. Chemie und Physiologie des Eiweisses. 3. Frankfurter Konferenz 2—3 Juni, 1938.
 55. M. Bergmann. Chemical Reviews, 22, N 3 (пер. «Успехи химии» 8, 439, 1939).
 56. K. Felix u. A. Mager. Zeit. f. physiol. Chem. 249, III, 1937.
 57. R. Meyer u. H. Mark. Der Aufbau des hochmolekularen organischen Naturstoffe, Leipzig, 1930.
 58. Д. Талмуд. ДАН СССР 25, № 7, 484, 1939.
 59. H. Neurath. Jour. Amer. Chem. Society, 61, 1840, 1939.
 60. А. Браунштейн. Стенограмма лекции, прочитанной в Инст. биохимии 25 мая 1939.
 61. Д. Талмуд. ДАН СССР, 20, № 2, 153, 1938.
-

ГЛАВА VI

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ КОЛЛОИДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Как это было показано нами в предыдущей главе, в тех многочисленных, разнообразных и сравнительно хаотически протекающих химических превращениях, которым подвергалось органическое вещество в первичной земной гидросфере, с самого же начала обнаруживалась определенная тенденция к синтезу все более и более сложных и высокомолекулярных соединений. Несомненно, что именно эта тенденция лежала в основе всей дальнейшей эволюции органического вещества. Однако конкретные пути, которыми шла указанная эволюция, можно себе представлять по-разному.

Неоднократно в литературе, посвященной вопросу о происхождении жизни, высказывалась мысль, что эволюция органического вещества шла просто по пути безграничного разрастания отдельных молекул. К первоначально небольшой частице в результате постоянно повторяющейся полимеризации и конденсации присоединялись при помощи основных химических связей все новые и новые атомные группировки. Молекула, таким образом, все более и более разрасталась, и вместе с тем усложнялось и ее строение. В конечном итоге создавалась такая гигантская молекула, которая по своим размерам приближалась к размерам мельчайших живых существ.

Согласно излагаемым представлениям, первоначально возникшие организмы и являлись, собственно, такими отдельными макромолекулами, в которых в результате случайных причин создавалось строго определенное и весьма постоянное расположение атомных группировок. Эта закономерная внутренняя структура макромолекулы (в принципе подобная структуре кристалла) и обуславливала собой определенные жизненные функции первичного организма. Путем постоянного более или менее точного повторения эта структура передавалась последующим поколениям живых существ. Таким образом, вся эволюция органического вещества, приведшая к возникновению жизни, протекала на основе только тех закономерностей, которые определяются пространственным расположением атомов в отдельных молекулах.

Изложенные представления пользуются широкой популярностью среди современных исследователей, работающих над интересующей нас проблемой. Так, например, как это мы видели в третьей главе, Ч. Липман [1] прямо говорит о первичном возникновении в растворе органических веществ «живой молекулы», прообразом которой может служить молекула фильтрующегося вируса. О «живых молекулах» говорит в своей работе и А. Кулябко [2]. Р. Бойтнер [3] за первичную форму живого вещества принимает случайно возникшую в растворе органических соединений частицу энзима, которая затем приобрела способность к самовоспроизведению, саморегенерации. Некоторые авторы (как, например, В. Курбатов [4]) даже современную протоплазму рассматривали как «единую химическую частицу или, вернее, колоссальный полиион». Но эта крайняя точка зрения находится в противоречии с рядом точно установленных физико-химических свойств протоплазмы. Поэтому большинство исследователей считает, что первично возникшая «живая молекула», частица вируса или «свободный ген» в дальнейшем своем развитии, так сказать, обросли другими разнообразными соединениями, вследствие чего и возник сложный комплекс современного живого вещества — протоплазма.

Однако на ряду с изложенным мыслимо и иное представление хода эволюции органического вещества. Согласно этому второму представлению, постепенное увеличение и усложнение молекулы не само по себе породило живые существа, а явилось только подготовительной ступенью к возникновению таких комплексных образований, из которых впоследствии сформировались первичные организмы. В той сложной смеси, какую представлял собой раствор органических веществ в водах первичного океана, не могло иметь места далеко идущее сепаратное разрастание отдельных молекул. Постепенный рост и усложнение молекул органических веществ неизбежно должны были привести к возникновению новых взаимоотношений между указанными молекулами. В результате этого стали возникать молекулярные рои, целые ассоциации или комплексы частиц, включающие в себя не однородные, а различные по своим размерам и свойствам молекулы. Этот процесс неизбежно должен был привести к концентрации органического вещества в определенных пунктах пространства и к выделению из окружающего однородного раствора тех или иных индивидуальных коллоидных образований.

Возникновение и выделение этих образований явилось чрезвычайно важным этапом на пути к первичному появлению простейших живых существ. Мы не можем себе представить даже наипростейший и наимельчайший организм полностью слитым с окружающей средой. Всякий организм отделен от внешней среды какой-то гранью, и, вместе с тем, он обладает определенной индивидуальностью, некоторыми особенностями строения, отличающими его от других подобных организмов. Поэтому у всех из-

вестных нам живых существ отсутствует та полная тождественность формы и качеств, которая может быть достигнута для химически чистых и физически однородных тел безжизненной природы. Таким образом, согласно этому второму мнению, необходимой предпосылкой для возникновения первичных живых существ явилось формирование индивидуальных коллоидных образований и их выделение из окружающего раствора органических веществ.

Для того чтобы иметь обоснованное, покоящееся на установленных наукой фактах представление о путях эволюции органического вещества в первичной земной гидросфере, нам нужно ознакомиться со строением и образованием тех полимерных, высокомолекулярных соединений, которые мы в настоящее время получаем в наших лабораториях, или которые возникают в естественных условиях, в живых организмах.

Указанные соединения играют исключительно важную роль в технике, а поэтому для ряда из них мы располагаем большим фактическим материалом, характеризующим как их строение, так и пути образования.

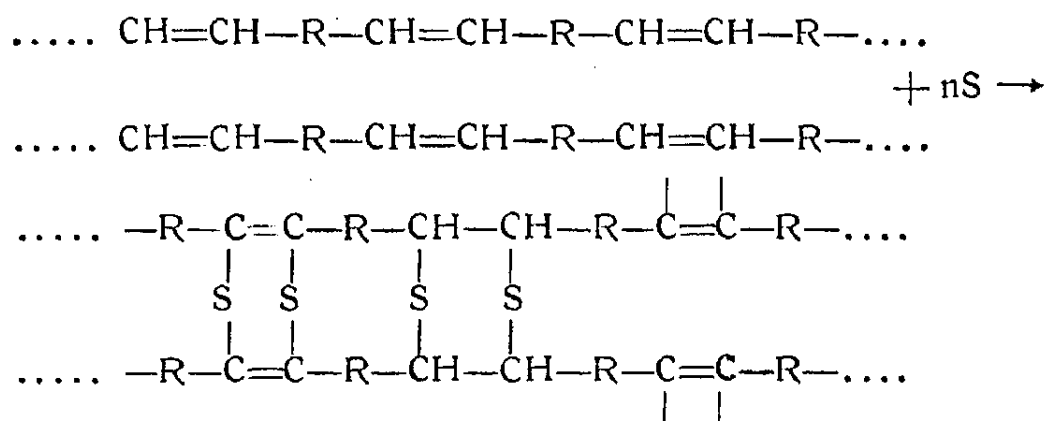
Особый интерес с указанной точки зрения представляют исследования Г. Штаудингера [5]. Этот автор изучал последовательный ряд искусственных высокомолекулярных соединений, получающихся в результате постепенной полимеризации низкомолекулярных веществ [6]. В частности, им были получены полиокси-метилена-диацетаты, представляющие собой длинные цепочки соединенных друг с другом кислородными мостиками формальдегидных остатков:



Число этих остатков в цепи может быть постепенно увеличено до произвольных размеров. При этом происходит чрезвычайно интересное изменение свойств получающихся таким образом полимеров. С удлинением цепочки и с увеличением молекулярного веса происходит постепенное уменьшение растворимости данного соединения в воде. Полимеры делаются все более и более плотными. Высшие полимеры, в состав которых входило уже до пятидесяти формальдегидных остатков, обладали определенной структурой. Они являлись волокнистыми по виду и при рентгеноскопическом исследовании давали диаграмму, указывающую на определенную взаимную ориентированность их частиц.

Дальнейшие исследования показали, что при такого рода полимеризации, действительно, возникают очень длинные нитевидные макромолекулы. Но в ряде случаев этим дело не ограничивается. Отдельные нитевидные макромолекулы могут, реагируя с небольшими количествами некоторых веществ, соединяться, так сказать, «сшиваться» между собой в двух или трех пространственных направлениях, причем возникают мономолекулярные пленки или гигантские трехмерные макромолекулы.

Процессы такого рода лежат в основе вулканизации каучука, окисления высыхающих масел, старения лаковых пленок, дубления белковых веществ и т. д. [7]. Так, например, вулканизация каучука может быть представлена следующей схемой:



Здесь «сшивание» происходит при помощи атомов серы. В других случаях оно осуществляется кислородом или более сложными атомными группировками.

По Штаудингеру, это «сшивание» всегда осуществляется за счет основных валентных связей, и следовательно, возникающие таким путем образования действительно являются гигантскими макромолекулами. «Можно говорить, — пишет Штаудингер в своей книге «Высокополимерные органические соединения», — об одномерных или нитевидных молекулах, о двумерных или плоскостных молекулах и о трехмерных или пространственных молекулах».

Эти образования обладают рядом характерных особенностей. Они наделены определенным весьма постоянным строением, — структурой. Они нерастворимы вследствие того, что поверхность таких гигантских макромолекул мала по сравнению с их размерами. В ряде случаев даже набухаемость таких веществ совершенно отсутствует или является крайне пониженной.

Примером построенных по тому же принципу естественных соединений может служить клетчатка, строение которой изучено в настоящее время особенно детально. Согласно данным многочисленных химических и рентгеноскопических исследований, в частности, — согласно работам В. Хеуорзса [8], К. Мейера и Г. Марка [9], в основе целлюлозного волокна лежат молекулы клетчатки, представляющие собой длинные цепочки, составленные из остатков целлобиозы, связанных между собой кислородными мостиками (см. рис. 5).

По Штаудингеру [10], число целлобиозных остатков в молекуле клетчатки хотя и может колебаться в известных пределах, но в общем является весьма значительным, примерно около тысячи остатков.

Таким образом, такая молекула представляется нам в схеме в виде очень длинной цепи, в которой все время повторяются одни и те же атомные комплексы. В целлюлозном волокне эти ни-

тевидные молекулы в некоторых своих частях весьма правильно ориентированы по отношению друг к другу. На определенных участках своей длины они располагаются параллельно, образуя

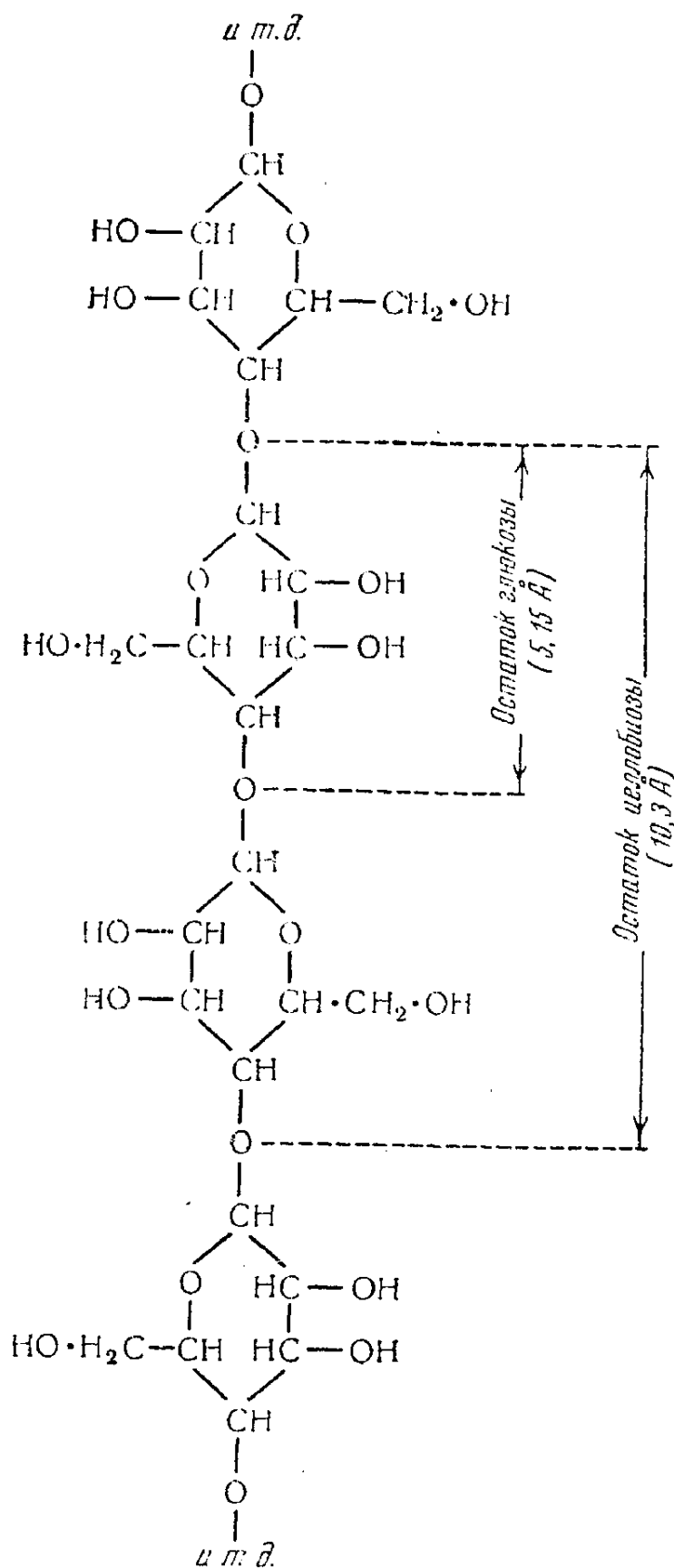


Рис. 5. Схема строения клетчатки.

таким путем правильно построенные пучки, в состав которых входит примерно 40—60 целлюлозных цепей. Однако в других своих частях молекулы могут беспорядочно перепутываться между собой, образуя как бы бахрому у правильно ориентированных ча-

стей. Указанные соотношения весьма наглядно даны на прилагаемой схеме строения клетчатки по Г. Марку [11] (см. рис. 6).

Соединенные между собой в пучки части молекул представляют так называемые мицеллы. Своим закономерным строением и до известной степени правильной ориентацией они приближают строение целлюлозного волокна к строению кристалла. На ряду с этим наличие беспорядочно спутанных молекулярных частей обуславливает известную эластичность и гибкость волокна, а также способность его к набуханию.

Согласно описанному принципу, построены молекулы и целого ряда других естественных образований, в частности некоторых белковых веществ. Из этих последних здесь прежде всего следует назвать фиброин шелка, так как в его строении

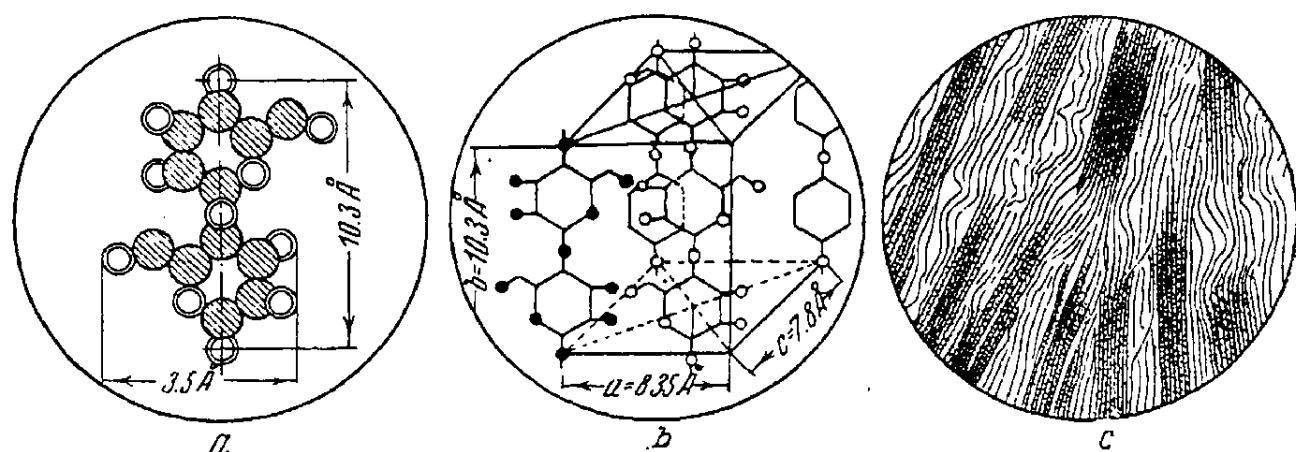


Рис. 6. Строение клетчатки по Г. Марку, *a* — условное увеличение в 50 000 000 дает в схеме один целлюбиозный остаток, входящий в состав молекулы клетчатки, *b* — условное увеличение в 5 000 000 дает в схеме кристаллографическую единицу волокна, элементарную клетку кристаллической решетки, обнаруживаемую при помощи рентгеноскопического исследования, *c* — условное увеличение в 500 000 дает схему мицеллярной структуры целлюлозного волокна.

указанный принцип является соблюденным наиболее полно. Как это мы видели в предыдущей главе, в молекуле фиброина остаток гликокола все время правильно чередуется с остатками других аминокислот, главным образом, — аланина. Следовательно, здесь, как и в целлюлозной молекуле, имеется длинная цепочка, в которой все время чередуются одни и те же атомные группировки. Рентгеноскопические исследования К. Мейера и Г. Марка [12] позволили этим авторам установить определенную схему строения молекулы фиброина (см. рис. 7). Согласно этой схеме, полипептидная цепочка, представляющая собой молекулу фиброина, вытянута в виде длинной нити. В шелке, как и в целлюлозном волокне, отдельные растянутые прямолинейные цепочки молекул сгруппированы в мицеллы, причем главные оси молекул ориентированы параллельно оси самой мицеллы. Таким образом, и здесь мы имеем более или менее геометрически правильную внутреннюю структуру, отдель-

ные части которой определенным образом взаимно ориентированы в пространстве. Эта структура, близкая, по существу, структуре кристалла, является весьма статичной, неподвижной.

Несколько иные, более сложные соотношения мы находим в волосе или в шерсти. Здесь и разнообразие аминокислот, входящих в состав полипептидной цепи, является более значительным, чем в фиброине шелка, да и самые эти аминокислоты

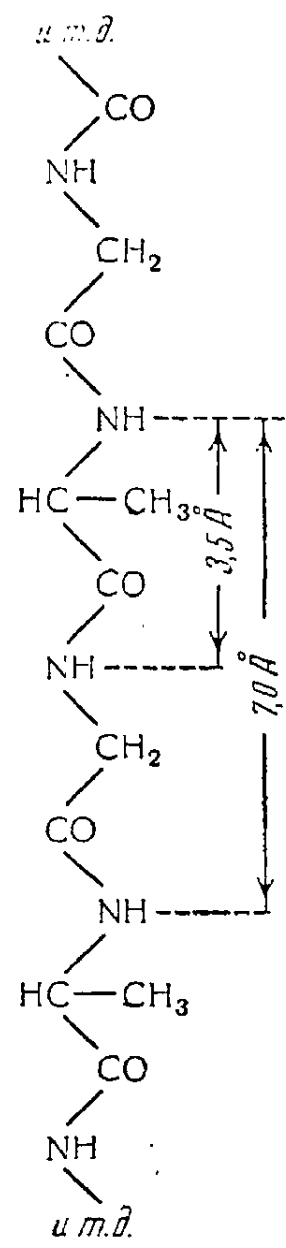


Рис. 7. Схема строения фиброина.

обладают более развитыми боковыми цепями, чем остатки гликокола и аланина. Поэтому и структура волоса является уже более сложной, чем структура шелкового волокна. Произведенное В. Астбери [13] изучение рентгенограмм нерастянутого волоса и волоса, подвергнувшегося растяжению в парах воды, показало, что только во втором случае составленные из аминокислотных остатков молекулярные цепочки расположены по прямой линии, подобно тому, как это имеет место в фиброине. В

естественном нерастянутом волосе эти цепочки обладают уже более сложным строением, они являются не прямолинейными, а закономерно закрученными. Прилагаемая схема (см. рис. 8) иллюстрирует сказанное. В естественном волосе (α -кератин) NH и CO группы взаимно притягиваются и этим загибают цепи в завиток, в результате чего длина отдельного звена цепи, состоящего из трех аминокислотных остатков, равняется всего 5.1 Å. При растягивании волоса указанные атомные группы расходятся, цепь расправляется и, как это показывают рентгено-скопические исследования, длина звена делается равной 10.2 Å

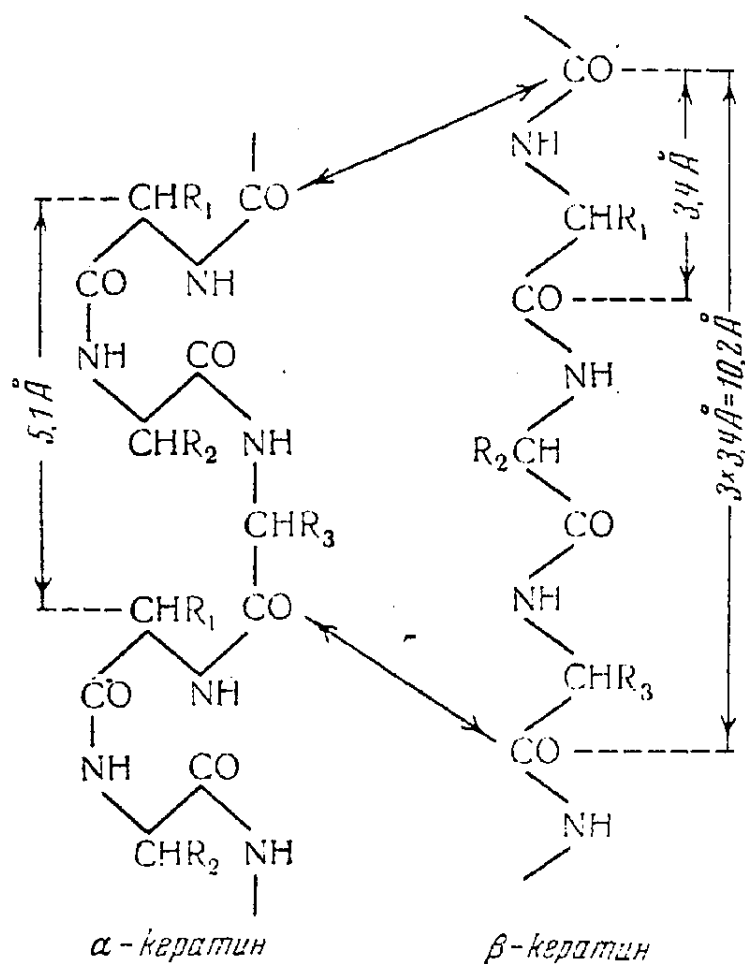


Рис. 8. Схема строения кератина.

(β -кератин). И действительно, мы можем таким путем растянуть волос примерно в два раза. Несмотря на указанное более сложное строение, как β -кератин, так и естественный волос обладают, подобно клетчатке и шелку, сравнительно постоянной закономерной структурой.

Итак, все те естественные высокополимерные вещества, которые мы сейчас рассмотрели, — клетчатка, шелк, волос, — обладают определенным сравнительно простым строением, более или менее геометрически правильной внутренней структурой, по существу близкой к структуре кристалла. Эта простота и постоянство строения, его статичность весьма упрощают задачу изучения этих объектов; они позволяют применять для детального исследования их тонкого строения тот же рентгеноскопи-

ческий метод, который оказался таким плодотворным при изучении структуры кристаллов. Поэтому указанные объекты в настоящее время и изучены лучше, чем другие белки или аналогичные составные части протоплазмы.

Как мы увидим ниже, в основной массе живой протоплазмы, несмотря на все старания, — ни при помощи рентгена, ни при помощи изучения двойного лучепреломления, — не удалось обнаружить какой-либо кристаллоподобной статической структуры [14]. Такого рода структура возникает только или в весьма специализированных служебных частях клетки, несущих здесь определенные функции, или только после отмирания протоплазмы.

Все рассмотренные нами выше образования являются мертвыми составными частями клетки. Они мертвы не только потому, что не могут воспроизвести какие-либо жизненные явления и после смерти клетки сохраняют все свои основные свойства и строение неизменными, но и потому, что они являются тупиком эволюции органического вещества. В них расположение отдельных элементов структуры упорядочено почти до конца и является статичным, застывшим в определенных неизменяющихся формах. Эта упорядоченность и статичность структуры крайне сужают возможности дальнейшей эволюции подобного рода образований. Если бы эволюция органического вещества на земной поверхности пошла по пути образования таких форм организации, то жизнь на Земле не могла бы возникнуть. Все первичное органическое вещество сравнительно скоро завершило бы свою эволюцию и превратилось бы в массу весьма уплотненных, нерастворимых в воде, химически инертных образований, в залежи своеобразной «горной породы», «закристаллизованного» органического вещества.

К счастью, это не случилось и не могло случиться в тех условиях, которые имели место в водах первичного океана, где перекрещивался между собой ряд разнообразных химических превращений органического вещества. Неизбежная здесь пестрота соединений и хаотичность процессов исключали возможность правильного последовательного присоединения одних и тех же, все время повторяющихся атомных группировок. Возникавшие в первичном океане полимерные соединения должны были обладать гораздо большим разнообразием своих составных частей, и их строение должно было быть гораздо менее правильным и постоянным, чем строение тех образований, которые мы получаем в искусственной обстановке или которые возникают внутри организмов, благодаря наличию здесь определенных специфических условий, к которым мы вернемся ниже.

На ряду с описанными нами выше «волокнистыми» белками, характеризующимися правильным строением молекулярных цепей и кристаллоподобным характером структуры, обнаруживаемой рентгеноскопическим исследованием, известно большое

число белковых веществ более сложного состава и строения. В противоположность шелку, кератину и т. д. они в большинстве случаев растворимы в воде или в соответствующих солевых растворах. В естественном не денатурированном состоянии они не обладают волокнистой структурой, и рентген до сих пор был бессилён расшифровать детали их строения. Но именно эти белки входят в состав протоплазмы или, по крайней мере, принимают непосредственное участие в общем обмене веществ клетки. Поэтому их строение в особенности интересно с разбираемой нами точки зрения.

Большую роль в изучении этих белковых веществ сыграл разработанный Т. Сведбергом [15] метод ультрацентрифугирования. В своей центрифуге Сведбергу удалось получить ускорение, в 900 000 раз превышающее ускорение силы тяжести. Подвергая такому центрифугированию водные растворы белков, он был в состоянии осадить белковые частицы, причем по скорости этого осаждения можно было судить об их молекулярном весе. Сопоставляя же эти данные со скоростью диффузии, удалось установить как размеры, так и форму находящихся в растворе белковых частиц.

Оказалось, что каждому виду белка свойственны определенные постоянные размеры частиц и постоянный молекулярный вес. Это можно видеть из приводимой ниже таблицы, заимствованной нами в несколько измененном виде из работы Г. Нейрата [16]. В этой таблице буквой M обозначен молекулярный вес, буквой a — короткий диаметр и буквой b — длинный диаметр молекулы, выраженные в \AA .

Весьма интересно, что для многих белков молекулярный вес равен 17 000 или кратному этой величине числу. Однако в некоторых случаях (например, для глиаина, хордеина, тиреоглобулина и т. д.) это правило не соблюдается. В отношении формы белковых частиц мы видим, что в некоторых случаях, например, у эритрокруорина она приближается к шаровидной, но в большинстве случаев молекулы белка вытянуты, и их длинная ось в несколько раз превышает короткий диаметр. Таким образом, они имеют форму палочек или даже игл (как, например, цеин или глобулин антипневмококковой сыворотки лошади).

В настоящее время не подлежит никакому сомнению, что и в основе описываемых нами растворимых так называемых «глобулярных» белков лежат полипептидные цепи, в которых одни аминокислотные остатки закономерно сменяются другими. В ряде случаев показано, что эти цепи могут даже «сшиваться» между собой за счет дисульфидных связей цистина, солевых мостиков, возникающих между карбоксильными и аминными группами боковых цепей, и т. д. Таким образом, мы видим, что и в основе строения этих белков лежит тот же принцип образования высокополимерных соединений, который мы рассматри-

Молекулярные веса и абсолютные размеры белковых частиц

Белок	М	a	b	b/a
1. Миоглобин	17 200	24	70	2.9
2. Лактальбумин	17 500	21	91	4.3
3. Глиадин	26 000	18	196	11.1
4. Хордеин	27 500	18	196	11.1
5. Цеин	35 000	16	322	20.1
6. Эритрокруорин	33 600	43	43	1.0
7. Пепсин	35 500	31	84	2.7
8. Инсулин	40 900	31	102	3.3
9. Яичный альбумин	40 500	32	91	2.9
10. Сывороточный альбумин (лошади)	67 100	34	145	4.3
11. Гемоглобин (лошади)	69 000	32	155	4.8
12. Дифтерийный токсин	72 000	34	145	4.3
13. Желтый фермент	82 800	36	152	4.3
14. Сывороточный глобулин	167 000	37	280	7.5
15. Глобулин антипневмококковой сыворотки (человека)	195 000	37	338	9.2
16. Кatalаза	248 000	46	297	5.8
17. Фикоретрин	290 000	54	232	4.3
18. Эдестин	309 000	55	237	4.3
19. Амандин	329 000	51	291	5.8
20. Гемоцианин	446 000	62	268	4.3
21. Уреаза	483 000	64	274	4.3
22. Тиреоглобулин	628 000	54	498	9.2
23. Глобулин антипневмококковой сыворотки (лошади)	920 000	47	950	20.1

вали выше. Однако здесь этот принцип соблюдается далеко не в той чистоте и строгости, как, например, у фиброина шелка.

У глобулярных белков простота этого принципа нарушается прежде всего громадным разнообразием тех аминокислотных остатков, которые входят в состав полипептидной цепи. Это придает их строению ряд очень важных специфических особенностей. Как мы видели в предыдущей главе, свободно торчащие из полипептидной цепи боковые ответвления аминокислотных остатков, обладают весьма различными химическими функциями. Здесь имеются и алкильные группы изолейцина и гидроксильные группы серина, аминные группы гексоновых оснований и карбоксильные группы дикарбоновых кислот и т. д. Поэтому свойства полипептидной цепи в отдельных ее участках глубоко различны; в одной части наше образование, вследствие скопления алкильных групп, будет носить гидрофобный характер, а в другой ОН, СООН и прочие подобные группы обусловят его гидрофильность. В одном месте заряд будет положительный, а в другом отрицательный и т. д.

Первым непосредственно видимым результатом этого разнообразия боковых ответвлений полипептидной цепи является то, что эти цепи не могут складываться между собой параллельно друг другу в строго определенно построенные пучки, как это было у фиброина. Вследствие взаимодействия боковых цепей они обязательно должны как-то закручиваться в сложные клубки, которые и представляют собой отдельные белковые молекулы. Их вес и размеры были приведены нами выше.

В настоящее время имеется ряд попыток расшифровать строение этих клубков. Наибольшей популярностью до послед-

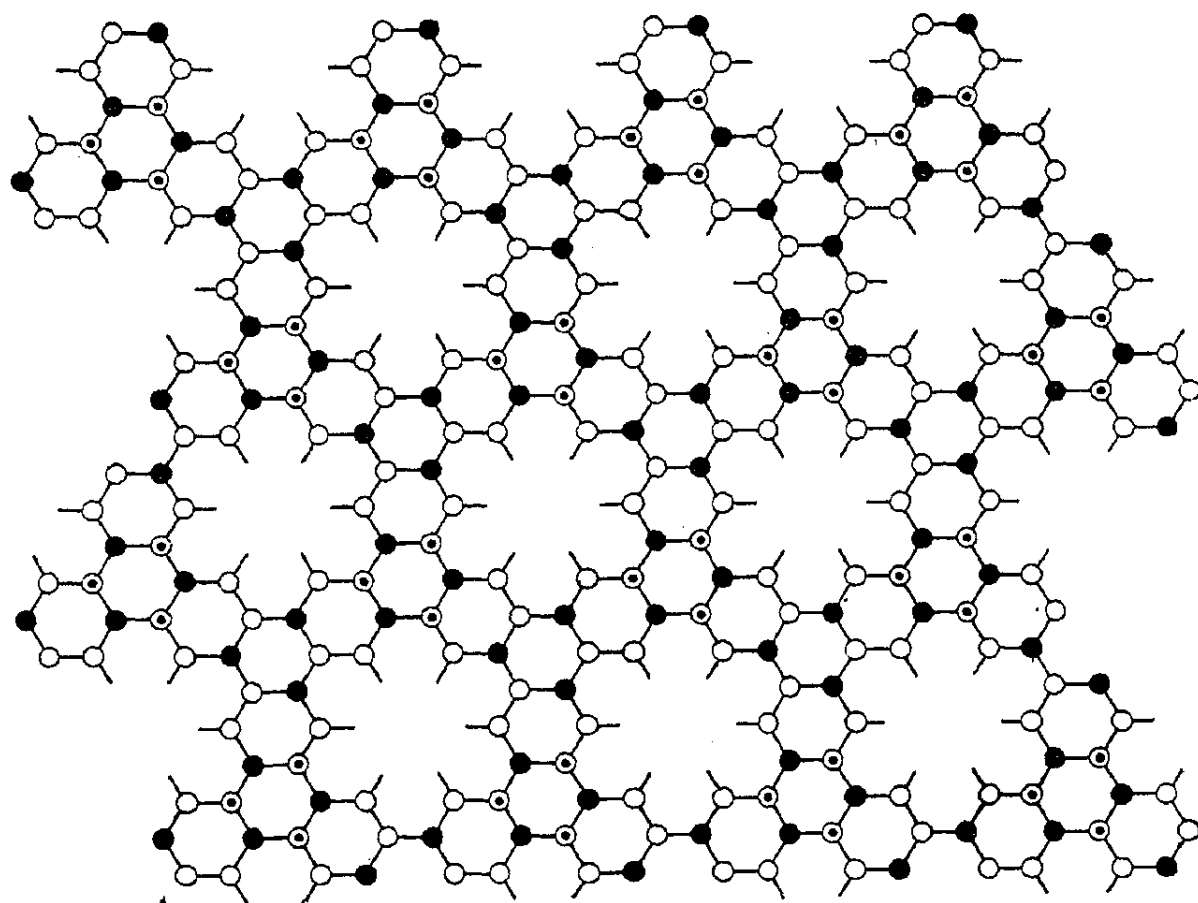


Рис. 9. Циклольная структура ● = N; ○ = C (OH), пептидный гидроксил, вверх, ⊙ = C (OH), пептидный гидроксил, вниз; ○ — = CH начальное направление боковой цепи вверх, ○ = CH, начальное направление боковой цепи вниз (по Ринчу).

него времени пользовалась гипотеза так называемого «циклольного» строения глобулярных белков, высказанная Д. Ринч [17] на основе чисто геометрических соображений. Д. Ринч исходила из того предположения, что полипептидная цепь, изгибаясь так, что группы NH и CO сближаются между собой, может в конечном итоге замкнуться в кольцо. Простейшая циклольная молекула может быть построена из шести аминокислотных остатков, но возможны и другие бесконечно сложные комбинации. В результате получается представленная на рис. 9 циклольная плоскостная структура, которая обязательно должна загибаться в замкнутые в пространстве многогранники (см. рис. 10). Поверхность этих многогранников по чисто геометри-

ческим основаниям может состоять только из вполне определенного числа аминокислотных остатков. Расчет показывает, что для белка с молекулярным весом около 35 000 здесь получается 288 остатков. Непосредственные же анализы М. Бергмана и К. Нимана [18] показали, что в ряде белков с молекулярным весом в 35 000, действительно, как и следует по расчетам, содержится 288 аминокислотных остатков в каждой молекуле белка. Таким образом, эта гипотеза довольно хорошо объясняла сферическую форму и определенные размеры молекул у глобулярных белков.

Однако при построении своей модели Ринч главное внимание сосредоточивает на полипептидном каркасе и почти игнорирует боковые цепи аминокислотных остатков. Поэтому указанная гипотеза не может объяснить многие биохимические особенности глобулярных белков. За последние годы циклольная гипотеза подверглась очень серьезной критике, так как она находится в известном противоречии с рядом точно установленных фактов.

Интересная попытка подойти с несколько иных точек зрения к вопросу о строении глобулярных белков в недавнее время была осуществлена Д. Талмудом [19]. Особенностью модели Талмуда является то, что она учитывает последствия, вызы-

ваемые взаимодействием боковых аминокислотных цепей. Это взаимодействие с энергетической точки зрения является довольно значительным, поэтому при синтезе белковой молекулы в водном растворе оно неизбежно должно приводить к накоплению боковых цепей в одной плоскости по отношению к полипептидному каркасу. В силу сказанного происходит свертывание полипептидной цепи в кольцо, боковые ответвления всех звеньев которого находятся по одну сторону от плоскости кольца. По чисто геометрическим причинам образование такого кольца возможно только в том случае, если все составляющие его аминокислотные остатки имеют одну и ту же оптическую конфигурацию. Из смеси правых и левых аминокислотных остатков невозможно построить замкнутую в кольцо полипептидную цепь, все боковые ответвления которой находились бы по одну сторону плоскости кольца. Эти соображения Талмуда дают очень интересное объяснение тому факту, что в состав естест-

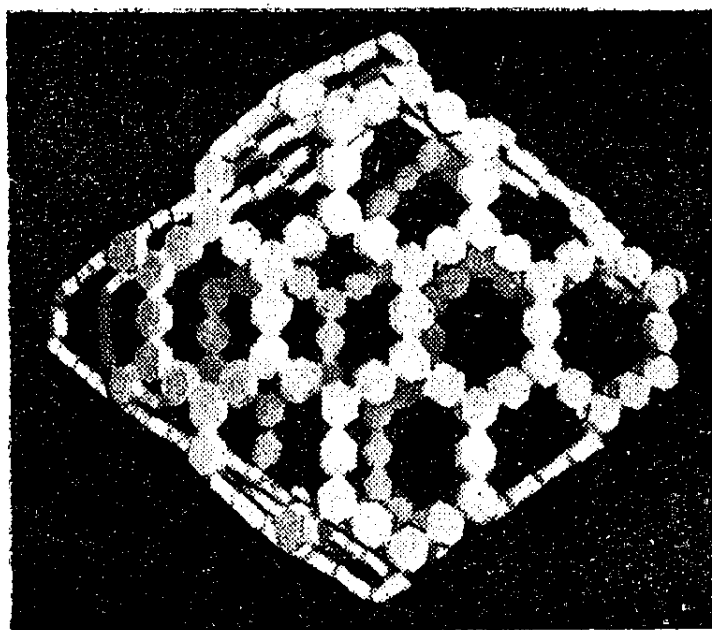


Рис. 10. Модель белковой молекулы с 288 аминокислотными остатками.

венных белков всегда входят аминокислоты одной определенной оптической конфигурации.

Все аминокислотные остатки описанного кольца, или «кольчатой цепи», как его называет Талмуд, связаны между собой пептидными связями и, следовательно, для образования этих колец не требуется какой-то особой формы соединения атомов. «Кольчатые цепи» Талмуд рассматривает как первичные единицы, из которых строится глобулярная белковая молекула. Они соединяются между собой определенным образом, образуя пространственные многогранники. Путем соединения таких первичных многогранников легко получаются молекулы с молекулярным весом, близким к тому, который был установлен для известных нам белков Сведбергом.

Как мы видим, в изложенных гипотезах выявляется вполне понятное стремление обосновать известную дискретность молекулярных весов белковых частиц, их определенные размеры и строение, исходя из сравнительно простых закономерностей. Причину того, что известные нам конкретные белки обладают определенным молекулярным весом и построены так, а не иначе, видят лишь в определенных геометрических или физико-химических соотношениях. При этом совершенно упускается из виду биологическое происхождение современных белков.

Но не нужно забывать, что конкретные белки, с которыми мы имеем дело, являются продуктом длительной эволюции тех живых существ, в которых они образовались. Игнорируя это обстоятельство, мы вряд ли сможем объяснить себе, почему, например, в крови быка образуется типичный для этого вида животных глобин, по своему строению существенно отличающийся от глобина человека или какого-либо другого млекопитающего.

В недавнее время Л. Паулинг [20] в одной из своих статей, в которой он подверг весьма основательной критике гипотезу Ринч, высказал мнение, что определенное различие в размерах молекулярных весов у известных нам белков, их дискретность, не может быть объяснена на основании одних лишь геометрических и физико-химических соображений. То обстоятельство, что мы для каждого известного нам белка имеем определенную величину молекулярного веса и что промежуточные величины отсутствуют, Паулинг объясняет естественным отбором производящих белки организмов, в результате которого до нас дошли только полипептидные цепи с некоторой определенной длиной и определенным расположением аминокислотных остатков. Этому мнению Паулинга нужно уделить самое серьезное внимание.

Как мы видели в предыдущей главе, в полипептидных цепочках тех белков, которые были исследованы с указанной точки зрения, удается обнаружить строго определенную последовательность аминокислотных остатков. Эта последователь-

ность определяет собою взаиморасположение боковых цепей, определяет, насколько те или иные химические группировки этих цепей удалены или сближены в отношении друг друга. Из всего того, что говорилось выше, ясно, что это расположение имеет первенствующее значение для характера закручивания полипептидного каркаса, а следовательно, для формы и величины получающейся таким образом белковой молекулы. Но, согласно исследованиям Бергмана [21], такого рода порядок в расположении аминокислотных остатков возникает внутри протоплазмы не случайно, а вследствие того, что здесь скорости отдельных ферментативных синтетических реакций определенным образом гармонически согласованы между собой. Для того чтобы это происходило именно так, а не иначе, требуется уже наличие определенной организации производящего данный белок живого вещества. Как мы увидим ниже, такого рода организация могла сложиться лишь в результате биологических закономерностей и в первую очередь в результате естественного отбора.

Итак, мы приходим к тому положению, что то закономерное строение, которое мы до известной степени обнаруживаем у современных нам белков, является результатом определенной организации протоплазмы, и что оно не могло быть в той же мере представлено у первичных белковообразных веществ. Конечно, совершенно невероятно, немыслимо, чтобы в первичном растворе органических соединений, где хаотически перекрещивались между собой разнообразные химические процессы, случайно возник белок, в точности соответствующий, например, глобину из бычьей крови, или какому-нибудь другому из современных белков. Это так же невероятно, как то, что случайно рассыпавшийся типографский шрифт сам собой сложился бы в полное собрание сочинений Шекспира.

Настолько же, если не в еще меньшей степени вероятным является и случайное возникновение в первичном океане гипотетических «живых молекул», которые неизбежно должны были быть наделены весьма сложной, но вполне закономерной структурой, строго определенной организацией, так как только такая организация могла обусловить собой необходимые жизненные функции первичного организма.

Все, чего мы с полным правом и основанием можем ожидать от тех разнообразных синтетических реакций, которые довольно беспорядочно протекали в первичном растворе органических веществ, — это возникновения полимерных образований, лишь подобных, аналогичных известным белкам. В частицах этих образований разнообразные аминокислотные остатки соединялись между собой полипептидными связями без какой-либо строгой последовательности, давая цепи разной длины и различного строения. Весьма важным, однако, для последующей эволюции этих образований обстоятельством явилось то, что

возникающие вследствие скручивания указанных цепей клубки-молекулы, подобно частицам современных нам глобулярных белков, несли на своей поверхности свободные ответвления весьма разнообразных аминокислот, обладающие различными химическими функциями.

Именно эта особенность белковых частиц, — одновременное наличие в различных пунктах одной и той же белковой молекулы и гидрофильных и гидрофобных группировок и положительно, и отрицательно заряженных ионов — обуславливает собой исключительную «склонность» белковых веществ к ассоциации. Молекулы различных белков очень легко ассоциируются между собой, давая начало образованию более сложных частиц или даже целых молекулярных роев, или комплексов. В естественных белковых растворах мы постоянно встречаемся с такого рода ассоциациями и комплексами белковых частиц. К. Феликс [22] считает вполне возможным, что те гигантские веса, которые Сведберг нашел при помощи своей ультрацентрифуги, в ряде случаев принадлежат не индивидуальным молекулам, а возникшим вследствие их взаимной адсорбции агрегатам. Вследствие этого они легко могут дезагрегироваться обратно на свои отдельные компоненты и вновь составляться из этих компонентов. С. Зеренсен [23] и его сотрудники разлагали белковые тела кровяной сыворотки на несколько компонентов, которые затем можно было снова соединить в первоначальную частицу — агрегат. По мнению Зеренсена, мы имеем здесь дело не просто со смешиванием компонентов, но они каким-то образом более или менее прочно соединяются друг с другом. Р. Блок [27], на основании своих исследований, указывает, что в естественной кровяной сыворотке молекулы альбумина и глобулина соединены в один комплекс, и он даже считает, что нужно вообще говорить о сывороточном белке как о чем-то едином целом.

Таких примеров можно привести очень много. Но особенно в широком масштабе эта ассоциация белковых молекул выявляется при образовании коллоидных гелей. Белки, как и некоторые другие высокомолекулярные органические соединения, как известно, в воде дают коллоидные растворы (золи). Устойчивость этих растворов, то обстоятельство, что равномерно распределенные в них частицы вещества не слипаются между собой и не выпадают в осадок, зависит у гидрофильных (органических) коллоидов от двух обстоятельств. С одной стороны, этому препятствуют электростатические силы, так как одноименно заряженные частицы отталкиваются друг от друга; с другой — еще большее значение имеет сродство молекул гидрофильных коллоидов к молекулам воды. Такие радикалы и группы, как, например — NH_2 , — OH , $=\text{O}$ и т. д., благодаря своему сродству к элементам воды, удерживают около себя молекулы этой последней. Частицы коллоида вследствие этого представ-

ляются как бы одетыми более или менее значительной водной оболочкой; эта водная оболочка и препятствует слипанию частиц. Если удалить эти оболочки с частичек гидрофильного коллоида и лишить эти частички заряда, они начинают соединяться между собой и образуют хлопьевидный осадок; — происходит коагуляция коллоидов.

От этого явления коагуляции нужно отличать явление образования геля, при котором органическое вещество не выделяется из раствора в виде плотного осадка, а образует объемистый студень, иногда содержащий в себе очень большое количество растворителя. Г. Кройт [25], который так много поработал над изучением строения и образования гелей, рисует нам следующую картину этого процесса. При образовании геля рассеянные в растворе коллоидные частички начинают соединяться между собой, но не во всем своем объеме, а только в отдельных очень ограниченных областях, тогда как другие части их поверхности остаются свободными. Следовательно, частицы коллоида образуют как бы ажурную сетку, в ячейках которой заключен растворитель. В белковых растворах при образовании гелей частицы ассоциируются, слипаются между собой гидрофобными «липофильными» группами (алкильные боковые цепи), тогда как гидроксильные, карбоксильные, аминные и другие гидрофильные группы удерживают около занятых ими частей белковой молекулы водную оболочку и тем препятствуют полному слипанию белковых частиц.

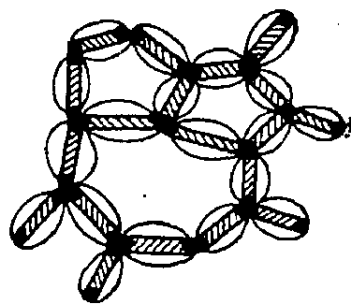


Рис. 11. Схема строения коллоидного геля (по Г. Кройту).

Сказанное можно иллюстрировать приведенной на рис. 11 схемой строения геля по Кройту. Здесь изображения самих частиц заштрихованы; их зоны гидратации (водные оболочки) показаны белым, а гидрофобные участки молекул изображены черным. При помощи этих участков, незащищенных гидратным слоем, молекулы сцепляются между собой, образуя сетчатый остов с большими ячейками, заключающими в себе основной раствор.

Таким образом, мы видим, что вследствие ассоциации белковых частиц возникает образование (гель), наделенное известной структурой. Но эта структура принципиально отличается от структуры шелка, волоса и тому подобных волокнистых белков. Здесь мы не имеем правильной строго постоянной взаимной ориентации молекул и мицелл. Под влиянием различного рода внешних воздействий эта структура может очень существенно изменяться; она не является статичной, застывшей, и поэтому таит в себе очень широкие возможности.

Еще более интересное с разбираемой нами точки зрения образование возникает тогда, когда ассоциируются между собой не однородные молекулы, не молекулы одного и того же бел-

ка, а различные коллоидные частицы. Уже сравнительно давно было известно [26], что в растворах гидрофильных коллоидов наряду с коагуляцией можно наблюдать и другое явление, которое обычно называется расслоением (Entmischung). Коллоидный раствор разделяется на два слоя — богатый коллоидными веществами жидкий осадок и находящаяся над ним свободная от коллоидов жидкость. В течение ряда последних лет это явление было подвергнуто Г. Бунгенберг-де-Ионгом [27] подробному исследованию.

В отличие от обычной коагуляции указанный автор назвал его коацервацией. Отслаивающуюся богатую коллоидами жидкость он обозначил как коацерват, а находящийся с ней в равновесии бесколлоидный раствор, как равновесную жидкость. В ряде случаев коацерват не отслаивается в виде сплошного жидкого слоя, а остается в форме мельчайших микроскопических капелек, плавающих в равновесной жидкости. В отличие от коагулята коацерват представляет собой жидкое тело. Как в коацервате, так и в равновесной жидкости растворителем является одно и то же вещество — вода. Но, несмотря на это, капельки коацервата отделены от окружающей их среды очень резкой гранью, ясно видимой поверхностью. Они могут сливаться между собой, но ни в коем случае не смешиваются с равновесной жидкостью. Это явление очень напоминает собой то, что мы наблюдаем при выдавливании из растительных клеток комочков протоплазмы. Подобно нашим коацерватам протоплазма пропитана водой, но, несмотря на свою жидкую консистенцию, она не смешивается с окружающей средой и плавает в воде в виде шариков, резко ограниченных от окружающего раствора.

С первого взгляда такое резкое разделение двух водных растворов кажется чрезвычайно странным, но де-Ионг на основании подробного анализа механизма коацервации дает ему вполне удовлетворительное объяснение. Как мы уже говорили, в гидрофильном золе отдельные коллоидные частички окружены оболочками из гидратационной воды. Де-Ионг указывает, что эти оболочки носят «диффузный» характер. Молекулы воды, примыкающие непосредственно к частицам коллоидов, связаны с ними очень прочно, они строго ориентированы по отношению к этим частицам. Ориентация следующего слоя водных молекул является уже менее совершенной, и чем дальше мы отходим от коллоидной частицы, тем все менее и менее связанными делаются молекулы воды. Наконец, мы попадаем в такие зоны, где указанная ориентация водных молекул совсем исчезает, и мы имеем дело со свободными молекулами раствора. Таким образом, для указанной гидратационной оболочки, окружающей коллоидные частицы золя, является характерным то, что нет реальной границы между водными молекулами оболочки и молекулами, находящимися в растворе (рис. 12).

Напротив, при коацервации эта граница появляется. Коацервация сводится именно к тому, что уменьшается гидратация коллоидных частиц, их способность удерживать вокруг себя широкую водную оболочку. Однако коллоидные частицы теряют воду не полностью и сохраняют вокруг себя те молекулы воды, которые тесно с ними связаны, очень жестко ориентированы по отношению к коллоидной частице. Сказанное можно пояснить прилагаемой схемой (рис. 13).

Таким образом, коацерват это особая категория концентрированного коллоидного золь, где молекулы воды жестко ориентированы по отношению к частицам коллоида и где, поэтому, создается реальная граница между ними и свободными водными молекулами равновесной жидкости.

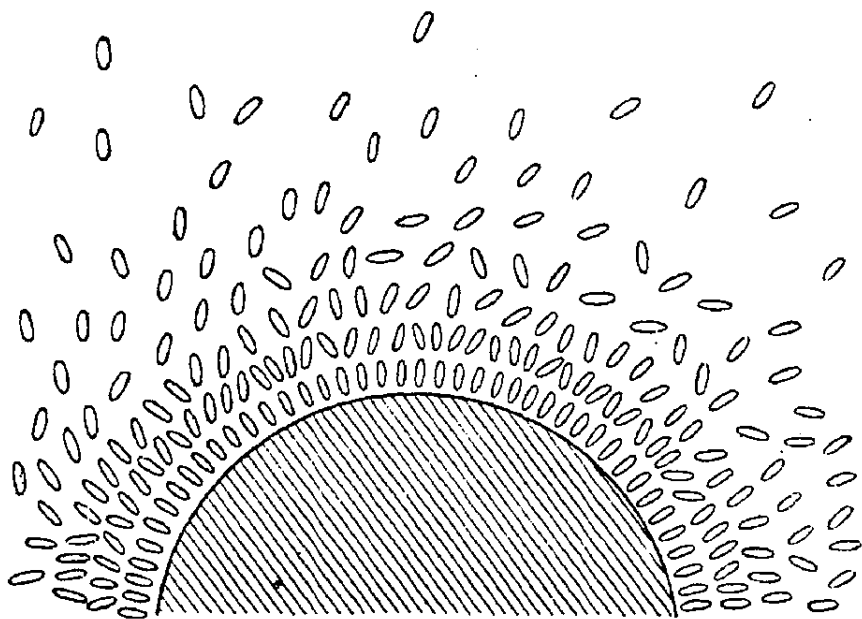


Рис. 12. Схема расположения молекул воды вокруг коллоидной частицы гидрофильного золь.

Самые разнообразные коллоидные растворы могут при известных условиях давать коацервацию. Но с исключительной легкостью она наступает при смешивании двух или более коллоидных растворов, содержащих в себе противоположно заряженные частицы. Как мы уже говорили, в растворах гидрофильных коллоидов их устойчивость поддерживается как электростатическими, так и гидратационными силами. Одноименно заряженные частицы отталкиваются друг от друга и тем противодействуют явлению коагуляции. Иное соотношение мы

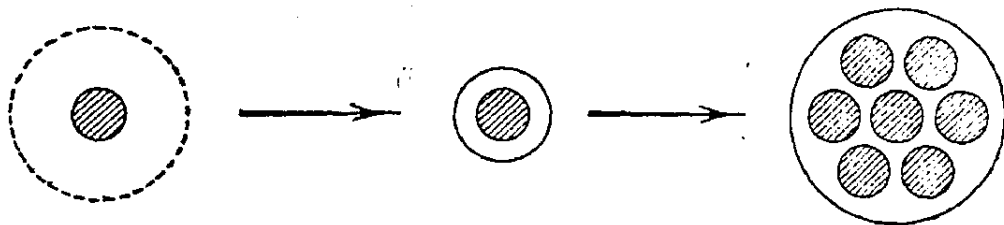


Рис. 13. Схема превращения частиц коллоидного раствора в частицу коацервата (по Бунгенберг-де-Ионгу).

имеем в том случае, когда в растворе присутствуют противоположно заряженные коллоиды. Здесь электростатические и гидратационные силы действуют как антагонисты. Гидратация попрежнему способствует стабильности раствора, но электростатические силы, напротив, стремятся сблизить коллоидные частицы.

Это взаимное притяжение разноименно заряженных частиц способно до известной степени преодолеть влияние гидратации. Таким образом, эти так называемые комплексные коацерваты, возникающие при смешивании противоположно заряженных коллоидов, существуют в результате антагонистического действия гидратационных и электростатических сил.

Устойчивость этой системы определяется, следовательно, взаимодействием двух противоположных уравнивающих друг друга воздействий. Это делает указанную систему крайне лабильной, подвижной, легко смещающейся в ту и другую сторону при малейшем изменении внешних условий.

Для пояснения разберем один из примеров образования таких комплексных коацерватов. Если мы смешаем при 42° разбавленный раствор желатины (0.67%) и такой же раствор гуммиарабика (0.67%), то наша смесь будет иметь вид однородной прозрачной жидкости до тех пор, пока pH раствора будет выше изоэлектрической точки желатины ($pH = 4.82$). При этих условиях актуальной кислотности частицы обоих коллоидных компонентов будут заряжены отрицательно, и поэтому никакой коацервации происходить не будет. Но если мы несколько подкислим раствор, то желатина, как амфотерный электролит изменит свой заряд, ее частицы при pH ниже 4.8 будут уже заряжены положительно, тогда как частицы гуммиарабика по-прежнему будут нести отрицательный заряд. В результате таких противоположных зарядов частицы желатины и гуммиарабика будут взаимно притягиваться. Благодаря этому и возникает коацервация, и из однородного вначале раствора выделяются капельки комплексного коацервата желатина-гуммиарабика.

Таким образом, устойчивость этого комплексного коацервата определяется взаимным притяжением коллоидных частиц, а сила этого притяжения, в свою очередь, является функцией произведения тех противоположных зарядов, которые эти частицы на себе несут. Если мы возьмем смесь растворов желатины и яичного лецитина, то в изоэлектрической точке желатины ($pH = 4.82$) заряд ее частиц будет равен нулю. И, несмотря на то, что при этом лецитин будет заряжен отрицательно, коацерват образовываться не будет, так как произведение зарядов, естественно, тоже будет равняться нулю. Точно так же и в изоэлектрической точке лецитина ($pH = 2.7$) возникновение коацервата невозможно, так как отсутствует заряд лецитиновых частиц. Наибольшая сила взаимного притяжения частиц желатины и лецитина лежит в промежуточной области pH , например, при $pH = 3.6$. В этих условиях кислотности данный коацерват является наиболее устойчивым. Всякое смещение концентрации водородных ионов в ту или другую сторону вызывает усиление гидратации и разжижение коацервата. При приближении к изоэлектрической точке того или другого компонента исчезает самая возможность существования коацервата.

Он растворяется. Конечно, если мы возьмем иные компоненты, то максимальная устойчивость коацервата будет лежать в иной зоне рН. Так, например, если мы желатину смешаем с протамином, изоэлектрическая точка которого лежит в щелочной среде (при $\text{pH} = 10-11$), то легко получится коацерват, устойчивый при $\text{pH} = 8.9$. Из сказанного видно, какой крайней чувствительностью обладают коацерваты к смещению актуальной кислотности раствора за определенные допустимые пределы.

Однако эта чувствительность коацерватов проявляется не только по отношению к H и OH -ионам, но и вообще к прибавлению прочих электролитов, в частности нейтральных солей. Так как в основе устойчивости комплексных коацерватов лежат электростатические силы притяжения противоположно заряженных коллоидных частиц, то всякое понижение этих сил должно приводить к распаду коацервата, к его обратному растворению. Поэтому ионы, разряжающие частички коацервата, вызывают разжижение последнего. Однако установлен ряд коацерватов, устойчивых по отношению к нейтральным солям. Как на пример, можно указать на комплексный коацерват клюпеин-нуклеиновая кислота или клюпеин-соевый лецитин. Очень интересно поведение коацерватов при воздействии на них постоянного электрического тока. Мы не будем на них подробно останавливаться, укажем только, что явление, имеющее здесь место, не только по своему внешнему проявлению, но и по внутреннему физико-химическому механизму совершенно сходно с той дезинтеграцией протоплазмы, которая обнаруживается при длительном пропускании постоянного электрического тока через среду, в которой находятся живые объекты.

Как мы уже говорили, устойчивость коацервата тем выше, чем больше производное противоположных зарядов частиц его компонентов. Это фактор, стабилизирующий коацерват. Напротив, гидратация частиц, способность их удерживать около себя водную оболочку действует в противоположном направлении. Эта сила стремится растворить коацерват. Но гидратация коллоида весьма сильно зависит от температуры, а именно при повышении температуры гидратация уменьшается. С этим связано то обстоятельство, что коацерваты весьма чувствительны не только по отношению к электрическим явлениям, но и по отношению к температуре. При повышении температуры, вследствие уменьшения гидратации коллоидов, коацерват уплотняется и выделяет из себя капельки равновесной жидкости, часть последних остается распределенной внутри коацервата, что обуславливает возникновение в нем вакуолей. И здесь очень трудно удержаться от аналогии с тем, что мы имеем в протоплазме, так как вакуолизация является чрезвычайно характерным признаком, отличающим протоплазму от большинства других коллоидных систем.

Де-Ионг приводит еще целый ряд любопытных физико-хи-

мических свойств коацерватов, которые могут быть поставлены в параллель с аналогичными свойствами протоплазмы, в частности, — образование поверхностных пленок, смачивание, адсорбция различных веществ из окружающего раствора и т. д. Особенно интересные соотношения получаются при работе с коацерватами, содержащими большое число компонентов, например, с коацерватом, состоящим из желатины, гуммиарабика, нуклеиновой кислоты и т. д.

Конечно, нужно подходить ко всем таким аналогиям с большой осторожностью. Ни в коем случае нельзя рассматривать комплексный коацерват, как точную коллоидную модель протоплазмы. Но все же внимательное изучение коацерватов показывает, что здесь дело не сводится только к одному внешнему сходству, как это мы имели в описанных нами выше опытах Ледюка (см. гл. III). Важно то, что ряд явлений, протекающих в коацерватах и протоплазме, обусловлен одними и теми же физико-химическими причинами, обладают одинаковым внутренним механизмом. Поэтому знакомство с коацерватами является весьма важным этапом на пути развития наших знаний о физико-химических свойствах протоплазмы.

Мы должны здесь обратить особое внимание на следующие свойства комплексных коацерватов. Прежде всего на их чрезвычайно ярко выраженную способность адсорбировать различные вещества, находящиеся в окружающем растворе. До возникновения коацервата, как мы говорили выше, собственно, не существует реальной границы между диффузными водными оболочками, одевающими частицы золя, и свободными молекулами растворителя. В процессе коацервации возникает резкая граница, — поверхность, отделяющая коацерват от равновесной жидкости. В связи с этим возникают новые поверхностные явления и, в частности, адсорбция коацерватом различных присутствующих в окружающей среде веществ. Многие органические соединения почти нацело извлекаются коацерватами из равновесной жидкости. Еще при концентрации 0.001% происходит адсорбция свободно плавающих в растворе частиц коацерватом. Часть адсорбированных молекул содержится в сольватной (гидратационной) жидкости коацервата, часть присоединяется к самым коллоидным частям и даже нередко вступает с ними в химическое взаимодействие. В результате этого капельки коацервата могут разрастаться на счет веществ, прибавленных к равновесной жидкости; при этом может происходить существенное изменение их химического состава.

Второе свойство комплексных коацерватов, на которое мы должны обратить наше внимание, состоит в способности их к вторичным изменениям. Как мы уже говорили, комплексные коацерваты по своему агрегатному состоянию являются более или менее подвижными жидкостями. В зависимости от внешних воздействий (температуры, концентрации водородных ионов,

присутствия электролитов и т. д.) их вязкость может колебаться в очень широких пределах. Но при некоторых условиях в коацерватах возникают направляющие силы, изменяющие их характер идеальных жидкостей. Благодаря действию этих сил частицы коацервата приобретают известную правильную ориентацию по отношению друг к другу. Де-Ионг указывает, что можно даже обнаружить в коацерватах некоторую структуру. Это он наблюдал в случае коацерватов, полученных из эдестина или из яичного альбумина. Точно так же и в коацерватах, одним из компонентов которых являлся крахмал, было замечено образование правильных 6-сторонних табличек. Но такие возникающие в коацерватах структуры весьма существенно отличаются от застывших статических образований, которые мы наблюдали в клетчатке, шелке и т. д. Они являются крайне неустойчивыми, и уже в результате простого трения покровного стекла их можно обратно превратить в первоначальные капельки. Таким образом, в коацерватах может возникать определенная ориентация коллоидных частиц, определенная структура, но эта структура существует только до тех пор, пока сохраняются направляющие силы, вызвавшие указанную ориентацию частиц. Как только эти силы исчезают или изменяются, так исчезает или изменяется и вызванная ими структура.

После проделанной нами экскурсии в область коллоидной химии вернемся вновь к тем белковоподобным полимерным соединениям, которые образовались в первичной водной оболочке Земли. Как уже отмечено выше, молекулы этих соединений, подобно частицам современных нам глобулярных белков, несли на своей поверхности как гидрофильные, так и гидрофобные группы, как положительно, так и отрицательно заряженные ионы. Поэтому в их растворах, как и в растворах настоящих белков, чрезвычайно ярко была выражена склонность к образованию межмолекулярных ассоциаций. Вследствие наличия в них «липофильных группировок» они все время были под угрозой выделения из однородного раствора в виде коллоидных гелей или комплексных коацерватов. Поэтому рано или поздно, в том или ином пункте первичного океана это выделение обязательно должно было произойти.

Ведь, как мы видели выше, условия для возникновения комплексных коацерватов элементарно просты. Они возникают при простом смешивании растворов двух или нескольких разноименно заряженных высокомолекулярных органических веществ. Значит, как только в первичной земной гидросфере начали образовываться разнообразные более или менее высокомолекулярные белковоподобные соединения, так немедленно же должны были возникнуть и комплексные коацерваты. Этому не могла воспрепятствовать и сравнительно невысокая концентрация органических веществ в водной оболочке Земли, так как коацерваты могут образовываться при очень высоких разведениях.

Вода современных нам морей и океанов содержит в себе лишь ничтожные следы органических соединений, возникающих при распаде погибших организмов. В громадном большинстве случаев эти вещества поглощаются планктонными организмами, для которых они служат основной пищей. Но в некоторых сравнительно редких случаях в глубине морских пучин они могут оставаться в течение сравнительно непродолжительного срока не затронутыми микроорганизмами. Ряд данных по изучению илистых глубоководных грунтов показывает, что в этих условиях растворенные органические вещества образуют студенистые осадки. Это же явление выпадения коллоидных гелей и коацерватов из воды, содержащей только следы органических веществ, нередко наблюдалось и в экспериментальных условиях, когда действие микроорганизмов было исключено. Таким образом, в результате смешивания тех или иных гидрофильных коллоидов — и в первую очередь первичных белковоподобных соединений — на земной поверхности должны были возникнуть комплексные коацерваты.

Образование коацерватов является весьма важным этапом в эволюции первичного органического вещества и в процессе самозарождения жизни. До этого момента органическое вещество было неразрывно слито с окружающей его средой, диффузно распределено во всей массе растворителя. При образовании коацервата произошло концентрирование органического вещества в определенных пунктах водной среды. При этом возникла резкая граница между этой средой и коацерватом. Раньше, как мы видели, частицы гидрофильных зольей, одетые сольватными оболочками, были неразрывно связаны с окружающей средой, не имели какой-либо реальной границы, отделяющей их от этой среды. Теперь с образованием коацервата органическое вещество выделилось из окружающего раствора, отчленилось от водной среды вполне реальной резкой гранью, до известной степени противопоставило себя окружающему внешнему миру.

Вместе с тем при образовании коацерватов органическое вещество не только сконцентрировалось в определенном пункте пространства, но и приобрело известную структуру. Раньше в растворе имелось лишь скопление беспорядочно двигающихся частиц, в коацервате эти частицы до известной степени ориентированы по отношению друг к другу. Правда, эта ориентация частиц не является стойкой и сохраняется только до тех пор, пока действуют внутри коацервата те или иные направляющие силы. Но все же здесь мы имеем уже появление некоторой, хотя и очень неустойчивой элементарной структуры. Таким об-

разом, в коацерватах на простейшие органо-химические отношения наложился новые коллоидно-химические закономерности. Однако для возникновения первичных живых существ и эти закономерности являлись еще недостаточными. Для этого было необходимо, чтобы коацерваты и подобные им коллоидные образования в процессе своей эволюции приобрели новые качества еще более высокого порядка, качества, подчиняющиеся уже биологическим закономерностям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ch. Lipman. The Scientific Monthly, 19, 357, 1924.
2. А. Кулябко. Происхождение жизни на земле. Рабпрос, 1928.
3. R. Beutner. Life's Beginning on the Earth, London, 1939.
4. В. Курбатов. Сб. работ по прикладной физиологии, т. II, стр. 158 и 227, 1930.
5. Г. Штаудингер. Химия высокомолекулярных соединений. 1932.
6. H. Staudinger. Ber. d. d. chem. Ges., 53, 1073, 1920; 60, 1782, 61, 2427, 1928; 62, 1929; 63, 222, 717, 1930; 44, 2212, 1911; 61, 2575, 1928; 63, 921, 1930.
7. А. Берлин. Успехи химии, 9, 642, 1940.
8. W. Haworth. Ber. d. d. chem. Ges., 65 (A), 43, 1932.
9. К. Мейер и Г. Марк. Строение высокополимерных органических естественных соединений. Госхимиздат, 1932.
10. H. Staudinger u. Mitarbeiter. Liebigs Ann. Chem., 527, 195, 1937; 530, 1, 1937.
11. H. Mark, «Nature», 144, 313, 1939.
12. K. Meyer u. H. Mark. Ber. d. d. chem. Ges. 61, 1932, 1928.
13. W. Astbury. Fundamentals of fibre Structure, 1933; Kolloid-Z. 83, 130, 1938; Trans. Far. Soc. 1938.
14. W. Lepeschkin. Kolloidchemie des Protoplasmas, II, Auf., Dresden Steinkopff. 1938. (ср. W. Schmidt. Protoplasma, 34, 237, 1940).
15. Th. Svedberg. Chem. Rev., 14, 1, 1935; 20, 81, 1937; Ind. Eng. Chem. anal. ed., 10, 113, 1938.
16. H. Neurath. J. Am. Chem. Soc., 61, 1841, 1939.
17. D. Wrinch. «Nature», 137, 411, 1936; 138, 651, 1936; Proc. Roy. Soc. A. 160, 59, 1937; A. 161, 505, 1937.
18. M. Bergmann a. C. Niemann. Journ. Biol. Chem. 118, 301, 1937.
19. Д. Талмуд. ДАН СССР, 25, 484, 1939.
20. L. Pauling a. C. Niemann. J. Am. Chem. Soc., 61, 1860, 1939.
21. M. Bergmann. Chemical Reviews, 22, N. 3, 1939.
22. K. Felix. Chemie und Physiologie des Eiweisses. 3. Frankfurter Konferenz 2—3 Juni, 1938.
23. S. Sørensen. Kolloid-Z. 53, 102, 1930.
24. R. Block. J. biol. Chem. (Am), 105, 455, 1934; Jale J. Biol. a. Med. 9, 455, 1937.
25. H. Kruyt. Chemie et Industrie, 42, 587, 1939.
26. Wo. Ostwald. Kolloid-Z. 43, 131, 1927.
27. H. Bungenberg de Jong. Protoplasma, 15, 110, 1932; Bioch. Z. 212, 318, 1929; 232, 338, 1931; 234, 367, 1931; 248, 131, 335, 1932.

ГЛАВА VII

ОРГАНИЗАЦИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

Для того чтобы иметь возможность дальше следить за ходом эволюции и процессом возникновения живых организмов, нам нужно, хотя бы в общих чертах, познакомиться с основными принципами организации живого вещества. Конечно, как здесь, так и в дальнейшем изложении, мы под живым веществом понимаем не какое-либо определенное химическое соединение, играющее роль «носителя жизненных свойств», какую-либо биогенную молекулу в духе Ферворна, или «живой белок» в понимании Пфлюгера. Термином живое вещество мы будем обозначать ту форму организации материи, которая присуща протоплазме всех живых существ, является общей для всех них.

Представление об этой организации может быть составлено только на основании изучения современных сильно дифференцированных в процессе эволюции живых объектов, на основании изучения цитоплазмы и ядра современной животной или растительной клетки. Конечно, каждая из клеток двух различных организмов или даже различных тканей одного и того же организма обладает своей индивидуальной, специфической для нее организацией живого вещества. Но здесь нам важно подметить те формы организации, которые являются общими для всех живых существ, независимо от их положения на эволюционной лестнице. Таким образом, говоря об организации живого вещества, мы имеем в виду те формы этой организации, которые лежат в основе построения всякого организма и которые возникли еще до расслоения, дифференциации протопласта, и потому в равной мере присущи как ядру, так и цитоплазме любой клетки, или недифференцированной еще протоплазме бактерий и других подобных организмов.

Исторически дело сложилось так, что над вопросом об организации живого вещества работали главным образом морфологи, и основным методом исследования этого вопроса являлось изучение протоплазмы под микроскопом. Организацию живого вещества хотели непосредственно увидеть, и поэтому ее мыслили лишь как пространственную категорию, как структуру. Так, например, Эрнст Брюкке [1] (1861 г.) писал по этому по-

воду следующее: «Мы должны признать в живой клетке, помимо молекулярной структуры органических соединений, еще другую иного порядка сложную структуру, и это есть то, что мы обозначаем названием «о р г а н и з о в а н н о с т ь». Точно так же и целый ряд последующих авторов ставил знак равенства между понятием «организация» и понятием «структура».

Это отождествление структуры и организации протоплазмы приводило к сугубо механическим воззрениям на природу живого вещества. Протоплазму рассматривали как некую живую машину и в ней фактически искали чуть ли не зубчатых колес и приводных ремней. Л. Иост [2] весьма удачно объединил эти воззрения в следующих немногих фразах: «Организмы всегда принято сравнивать с машинами, и действительно, между теми и другими оказываются поразительные аналогии. Дело в том, что работоспособность машины не зависит по преимуществу от химических свойств ее частей, но от их устройства, их расположения. Устраиваем ли мы машину из латуни или стали, это будет, конечно, влиять на ее прочность и точность, но не на род ее действия. Нельзя не сознаться, что допущение, по которому, может быть, и в организме дело сводится скорее к расположению мельчайших частей, нежели к вещественным свойствам, имеет в себе нечто заманчивое».

Именно эти идеи лежали в основе признания пластеина за важнейшее, существеннейшее, центральное вещество протоплазмы. Пластеин был выделен И. Рейнке [3] при его знаменитом химическом анализе состава протоплазмы плазмодиев слизевых грибов (миксомицетов). Это весьма сложное белковообразное вещество в химическом отношении является довольно инертным, и поэтому оно представлялось Рейнке весьма подходящим материалом для построения протоплазменных структур, той «латунью или сталью», из которой создана «живая машина». Мнение это продержалось в умах биологов почти полвека, и лишь в 1925 г. оно было опровергнуто исследованиями А. Кизеля [4]. Оказалось, что пластеин представляет собой смесь, в состав которой входит типичный скелетный белок или альбуминоид, вместе со сложным угловодом типа клетчатки. Пластеин оказался простым, начинающим развиваться в плазмодии скелетом будущего плодоношения. Таким образом, он представляет собой вещество, характерное лишь для слизевых грибов, и то только для определенной стадии их развития. Следовательно, никакого общебиологического значения пластеин не имеет, он не входит в состав живой протоплазмы, а является таким же продуктом ее жизнедеятельности, как клетчатка, фиброин и прочие тому подобные вещества, описанные нами в предыдущей главе.

Стремление непосредственно увидеть ту твердую материальную основу, те «балки и скрепы», которые образуют конструкцию в машиноподобной организации протоплазмы, привело в

конце прошлого века к созданию ряда теорий структурного строения живого вещества. Флемминг видел в протоплазме тончайшие ниточки, образующие ее твердую основу. Альтман представлял себе протоплазму состоящей из мельчайших зернышек или гранул. Фромман создал теорию сетчатого строения протоплазмы. По этой теории протоплазма построена подобно губке: сеть из более плотного вещества образует ее твердую основу. Но, как показали исследования А. Фишера [5], все эти твердые структуры возникают лишь после смерти клетки при фиксации цитологических препаратов. Таким образом, они ни в коей мере не могут характеризовать организации живого вещества.

Та же судьба постигла и теорию пенистого строения протоплазмы О. Бючли [6]. Согласно этой теории, протоплазма построена так же, как любая искусственная пена из ячеек, давящих друг на друга и располагающихся по определенным физическим законам. В свое время эта теория пользовалась широкой популярностью, так как казалось, что на ее основе можно легко подойти к объяснению сложной организации обмена веществ внутри живой протоплазмы.

В частности Ф. Гофмейстер [7] (как и ряд других авторов) считал, что обмен веществ может базироваться только на пространственно изолированных друг от друга реакциях. В этом он видел химическую организацию протоплазмы и с указанной точки зрения сравнивал ее с химической фабрикой. На фабрике, смотря по обстоятельствам, в одном и том же помещении могут производиться разные химические превращения, но многие из них должны быть строго отделены, если только необходимо получить желаемый результат. Как раз в этом смысле ячеистая структура живого вещества и представлялась наиболее удачной формой организации, позволяющей в ничтожно малом объеме одновременно совершаться самым разнообразным химическим реакциям.

Однако данные более углубленного непосредственного исследования живой протоплазмы не подтвердили теории О. Бючли. Согласно Е. Вильсону [8], всякая видимая пенистая структура в животной или растительной клетке является образованием преходящим, непостоянным и во всяком случае не «первичным», т. е. не принадлежащим собственно протоплазме. Пенистые структуры, которые можно обнаружить в фиксированных и окрашенных препаратах, совершенно отсутствуют в неповрежденных клетках; они являются следствием коагуляции протоплазменных коллоидов, вызванной фиксирующими материалами [9].

Л. Гельбрун [10] на основании своих обширных исследований над вязкостью протоплазмы приходит к тому убеждению, что в ней отсутствует не только видимая структура, но, что здесь нет также и каких-либо невидимых образований, построен-

ных из «балок и тяжей» или вообще какого-либо иного твердого материала.

Все многочисленные опыты и наблюдения последних лет с несомненностью показывают, что живая деятельная протоплазма в главной своей массе находится в жидком агрегатном состоянии. Правда, отдельные ее, как внешние, так и внутренние, части в определенные периоды жизни могут застудневать, причем это явление носит обратимый характер. Но не в этих студневидных образованиях мы должны искать разгадку строения живого вещества. В большинстве случаев они играют лишь частную служебную роль, и общее желатинирование протоплазмы происходит только при ослаблении жизненных процессов, при анабиозе. Основная форма организации живой материи связана с жидким агрегатным состоянием. Сказанное в равной мере относится как к цитоплазме, так и к клеточному ядру, главная масса которого всегда является жидкой. Легко понять, что это жидкое агрегатное состояние живого вещества совершенно несовместимо с вышеизложенными представлениями о машиноподобной организации протоплазмы.

В недавнее время В. Лепешкин [11] в своей книге «Kolloidchemie des Protoplasmas» («Коллоидная химия протоплазмы») дал обширную сводку того фактического материала, который накопился в научной литературе по вопросу о строении протоплазмы. На основании этого материала указанный автор приходит к тому положению, что живое вещество представляет собой коллоидную грубодисперсную систему, основная масса которой, интергранулярная среда является жидкой и оптически пустой (т. е. в ней не удастся обнаружить какой-либо видимой структуры). В этой среде взвешены сравнительно немногочисленные частицы грубодисперсной фазы, размер которых больше 0.1μ , и поэтому они видимы под микроскопом. Некоторые из этих частичек, например, микрозомы или гранулы, являются, по видимому, твердыми образованиями, но наиболее биологически интересные включения, как, например, хондриозомы или митохондрии носят характер капелек вязкой жидкости и являются местом одновременного скопления как белковых, так и липоидных веществ, а, может быть, как думает Лепешкин, и их соединений (липопротеидов).

Интергранулярную среду протоплазмы тоже нельзя рассматривать как простой коллоидный раствор. Она представляет собой довольно сложную систему, состоящую из коллоидодисперсной фазы (мицелл) и интермицеллярной среды. Согласно исследованиям А. Гильермона [12], находящиеся в живой протоплазме коллоидные частички должны носить ярко выраженный гидрофильный характер, т. е. обладать большим сродством к частицам воды. Гидрофобные частицы в живой протоплазме отсутствуют. Это доказывается тем, что при рассмотрении интергранулярной среды в ультрамикроскоп с применением

кардиоидного конденсора она представляется оптически совершенно пустой. Гидрофобные коллоидные частички при этих условиях должны были бы быть хорошо видимыми. При отмирании протоплазмы происходит потеря частичками их гидрофильности. Поэтому при повреждении клетки мы сначала можем наблюдать под ультрамикроскопом общее диффузное просветление протоплазмы, а затем коагуляцию белков, связанную с образованием некоторых видимых структур.

Значительный интерес представляет вопрос о размере и форме коллоидных частиц, составляющих коллоидно-дисперсную фазу протоплазмы. В. Лепешкин считает, что наряду с шаровидной и палочковидной формой белковые частицы могут представлять собой нитевидные молекулы, спутанные в клубки. Согласно И. Лэнгмюру [13], на границе белкового раствора с воздухом в так называемых «монослоях» эти клубки расправляются и дают нитевидную форму. Такие же нитевидные молекулы Лепешкин предполагает и в протоплазме. Он считает, что их длина примерно в 100—200 раз должна превышать толщину. Однако есть все основания сомневаться в том, что коллоидно-дисперсная фаза протоплазмы представлена в виде мономолекулярных частичек, т. е. частичек, состоящих всего из одной молекулы белка каждая. Гораздо вероятнее, что мы имеем здесь целые молекулярные агрегаты.

Во всяком случае, наличие в протоплазме нитевидных коллоидных частиц весьма убедительно доказывается ее способностью растягиваться в тонкие нити, оставаясь при этом живой и сохраняя свое жидкое состояние, что может иметь место только благодаря присутствию свободных нитевидных частиц. Указанное свойство протоплазмы ряд авторов продемонстрировал на самых разнообразных объектах и в различных условиях исследования. Наличие свободных нитевидных частичек живого вещества подтверждается и при определении эластичности протоплазмы.

В недавнее время А. Фрей-Висслинг [14] развил свои представления о мицеллярном строении протоплазмы. Согласно этим представлениям, протоплазма живых организмов коренным образом отличается от всех известных нам дисперсных систем (суспензий, эмульсий, пен и т. д.) тем, что в качестве дисперсной фазы она содержит нитевидные частицы, величина которых в пределе приближается к молекулярным размерам. Эти частицы могут определенным образом взаимно ориентироваться и даже соединяться.

По Фрей-Висслингу, тут дело идет об освобождении или закреплении «точек сцепления» — мест соединения нитевидных молекул в сеть. Эти точки сцепления между нитевидными белковыми молекулами могут быть образованы соединением соседних алькильных, гидроксильных, сульфгидрильных групп или солевыми мостами между основными и кислотными группами.

Возникающая таким путем молекулярная сеть и обуславливает собой сложную тончайшую структуру протоплазмы.

В этом представлении Фрей-Висслинга мы, таким образом, вновь встречаемся с механистическим толкованием организации живого вещества, но уже на более тонкой материальной основе, где в качестве «балок» конструкции выступают отдельные молекулы. Однако нужно отметить, что если такого рода мицеллярные сети и возникают действительно в протоплазме, то это имеет место только в отдельных частных случаях и связано с остуднением данного протоплазменного образования. В основной же массе жидкой живой протоплазмы нитевидные частицы находятся в свободном состоянии и не образуют каких-либо стационарных структур.

Точно так же весьма сомнительным является наличие внутри протоплазмы правильной (т. е. относительно простой) ориентации нитевидных частичек. Доказательство такой ориентации искали в двойном лучепреломлении (анизотропности) протоплазмы. Как известно, двойным лучепреломлением обладают не только твердые тела, но и жидкости. Постоянно этим свойством наделены так называемые жидкие кристаллы, или мезоморфные тела. Молекулы веществ, образующих эти жидкости, обладают удлинённой формой. Благодаря взаимному ориентирующему действию эти молекулы выстраиваются таким образом, что их оси располагаются в параллельном направлении. Вследствие этого преломление светового луча будет меняться в зависимости от того, проходит ли он параллельно длинным осям молекул или перпендикулярно им. В ряде случаев двойное лучепреломление возникает в жидкостях лишь при их движении, вследствие которого создается определенная ориентированность палочковидных молекул или коллоидных частиц.

Как мы видели выше, двойное лучепреломление свойственно и таким объектам, как, например, целлюлоза, шелк и пр., так как здесь взаимная ориентация молекул выражена очень отчетливо и приближается по своей правильности к кристаллическому строению. До известной степени это же можно сказать и о таких протоплазменных образованиях, как, например, жгутики протистов, пелликула инфузорий или мышечные волокна высших животных, которые совершенно отчетливо проявляют двойное лучепреломление. На правильной ориентации удлинённых частичек вещества в этих образованиях базируется их физиологическая функция, их способность к сокращению. Однако в основной массе живой жидкой протоплазмы, несмотря на все старания, до настоящего времени не удалось обнаружить двойного лучепреломления как в случае покоя, так и в случае прижизненного движения. В. Лепешкин приводит обширный материал, показывающий, что все наблюдения, которые как будто бы говорят за наличие двойного лучепреломления в протоплазме, связаны с ее повреждением и относятся, собственно, к посмертным явле-

ниям. Действительно, при отмирании протоплазмы возникают явления анизотропности, которые раньше нельзя было обнаружить.

В. Лепешкин объясняет отсутствие двойного лучепреломления в живой протоплазме тем, что нитевидные коллоидные частички и молекулы являются слишком длинными и гибкими для того, чтобы расположиться параллельно друг другу. При отмирании протоплазмы они распадаются на более короткие палочковидные куски, которые могут расположиться параллельно вследствие движения протоплазмы, происходящего до затвердения данного образования. Таким образом, в основной массе живой протоплазмы мы не имеем такой сравнительно простой и постоянной ориентации коллоидных частичек, которую мы могли бы обнаружить доступными нам методами.

Та среда, в которой взвешены грубодисперсные образования (гранулы, хондриозомы и пр.) и коллоидные нитевидные мицеллы, так называемая интермицеллярная среда или субстанция, так же как и интергранулярная среда в протоплазме не представляет собой просто воду или молекулярный водный раствор органических веществ и неорганических солей. Интермицеллярная субстанция протоплазмы сама по себе является довольно сложным коллоидным образованием. Это доказывается следующим: несмотря на то, что протоплазма содержит примерно 65—70% воды и не ограничена от внешней среды никакой твердой оболочкой, она не смешивается с окружающим водным раствором. Как мы видели выше, это свойство является характерным для коацерватов Бунгенберг-де-Ионга [15]. И, действительно, детальные исследования физико-химических свойств живой протоплазмы и тех изменений, которые в этих свойствах наступают при различного рода внешних воздействиях, показывают, что вещества, образующие интермицеллярную субстанцию, находятся в том же коллоидо-химическом состоянии, которое возникает при смешивании двух или нескольких разноименно заряженных гидрофильных коллоидов.

Мы не будем здесь останавливаться на разборе строения и свойств коацерватов, поскольку мы это сделали в предыдущей главе. Отметим только, что В. Лепешкин не соглашается с тем теоретическим обоснованием, которое дает явлению коацервации Бунгенберг-де-Ионг. В. Лепешкин считает, что как в искусственных жидких осадках (коацерватах), так и в протоплазме вода не образует водной оболочки вокруг частиц коллоида, а находится внутри этих закрученных в клубочки частиц. В петлях этих клубочков содержатся молекулы воды, которые вследствие своего движения приводят в движение и пептидную цепь молекулы, так что вся коллоидная частица приобретает характер жидкости. По схеме Лепешкина, водные оболочки частичек настолько редуцированы, что последние взаимно притягиваются и образуют жидкий осадок, обладающий сложной структурой («флюоид», по терминологии Лепешкина). Нам пред-

ставляется, что схема Бунгенберг-де-Ионга является более обоснованной с физико-химической точки зрения, чем «флюоиды» Лепешкина. Но в данном случае для нас в особенности важно лишь подчеркнуть тот факт, что интермицеллярная субстанция протоплазмы находится в том же коллоидо-химическом состоянии, как и искусственно полученные коацерваты или жидкие осадки.

Таким образом, подводя итоги всему сказанному, мы видим, что с коллоидо-химической точки зрения протоплазма в схеме представляет собой коацерватную субстанцию, в которой взвешены нитевидные коллоидные мицеллы и видимые под микроскопом образования: жидкие капельки или твердые частицы. Такого рода схема довольно удовлетворительно объясняет ряд физико-химических свойств протоплазмы. Но она отнюдь не дает простора для всякого рода спекуляций о стационарной твердой машиноподобной структуре живого вещества. Но так как, подходя к вопросу об организации протоплазмы с чисто пространственной, морфологической точки зрения, очень трудно отказать от такой структуры, то мы видим, что поиски ее продолжают и сейчас, хотя в ряде случаев они из коллоидо-химической области перенесены в область строения молекул. Идя по этому пути, стремятся всю организацию протоплазмы и все связанные с нею жизненные явления объяснить некоторой интрамолекулярной структурой, некоторым стационарным расположением атомов в молекуле того или иного химического соединения, входящего в состав живого вещества.

Одним из весьма ярких примеров такого подхода к разбираемому нами вопросу являются взгляды, развитые Н. Кольцовым [16] в его книге «Организация клетки» и в последующих статьях. Н. Кольцов, являясь убежденным, ортодоксальным морфологом, рассматривает организацию клетки только с точки зрения пространственного расположения частей, с точки зрения формы, которой он придает исключительное значение. «Каждой клетке, — пишет он, — присуща, как и всякой машине, определенная геометрическая форма». «Наиболее характерным признаком, отличающим живое от мертвого, является форма живых организмов». «Дать физико-химическое объяснение морфе живых организмов, значит свести ее к векториальным свойствам кристаллов». Это он и стремится сделать в своих работах, по существу ставя знак равенства между понятием «организация» и понятием «структура».

Совершенно естественно поэтому, что обширные экспериментальные исследования Н. Кольцова направлены на то, чтобы увидеть и описать те твердые скелетные образования, которые определяют собою морфу клетки. Однако, как мы видели выше, такого рода образования могут быть обнаружены лишь в специализированных частях протоплазмы и совершенно отсутствуют в основной массе живого вещества. Но этот факт не изменяет.

принципиальной установки Н. Кольцова на организацию клетки. Он пишет: «Если даже, применяя ультрамикроскоп, мы лишь в редких случаях можем видеть скелетные фибриллы в живых или фиксированных клетках, то это доказывает лишь то, что фибриллы эти очень тонки — тоньше 0.01 μ , или что по коэффициенту лучепреломления они не отличаются от окружающего их коллоидного раствора». Развивая далее эту мысль, Кольцов в конечном итоге пришел к внутримолекулярным структурам как основе организации клетки, но и молекулы он мыслит в виде застывших неподвижных пространственных форм, в полном отрыве от химического процесса. Даже процесс ассимиляции белков, по его мнению, «есть не что иное, как процесс роста кристаллов при наличии готовых кристаллических решеток».

Особенно отчетливо указанные представления Н. Кольцова изложены в его учении о генонеме [17]. Генонема — это та гипотетическая весьма длинная нитевидная белковая молекула, которая, по мнению Кольцова, лежит в основе хромосом и является носителем наследственных свойств организма. Химически генонема является весьма устойчивой, инертной. Она не принимает участия в обмене веществ и в процессе развития данного организма остается неизменной. «Генонема, — пишет Кольцов, — несет в себе готовые образцы всех специфических для вида и для индивидуума сложных белков и других соединений, которые когда-то были выработаны в длинном процессе видовой эволюции и химический синтез которых каждый раз заново без готового образца представляется невероятным. Генонема и ее отдельные составные части — гены — являются заправками, вокруг которых возникает процесс ассимиляции, являющийся с физико-химической точки зрения кристаллизационным процессом».

Но каким образом на основе описанной формы организации можно объяснить все те свойства, которые характерны для живой протоплазмы: обмен веществ, рост, развитие и т. д.? Если мы реально представим себе указанную выше кристаллизацию химически инертного «генонемного вещества», то убедимся, что ничего, кроме кристаллов этого вещества, мы в конечном итоге здесь получить не сможем. В лучшем случае мы получим волокна типа клетчатки, шелка и тому подобных образований, наделенных неподвижной, весьма упорядоченной структурой, но не участвующих в обмене веществ и сохраняющих все свои основные свойства и после смерти клетки.

Как мы видели выше, мысль о большой химической устойчивости, инертности веществ, входящих в состав протоплазмы, не является новой. Мы с нею уже встречались, когда говорили о пластеине Рейнке. Ее развивал и ряд последующих ученых. Эта мысль логически вытекает из механистического представления о живой протоплазме как о некоей конструк-

ции. Белки и прочие основные вещества протоплазмы являются лишь строительным материалом для этой конструкции. И поэтому чем прочнее, чем устойчивее этот материал, тем совершеннее вся система в целом.

Однако все, что мы знаем о химическом составе протоплазмы, в корне противоречит такого рода представлению [18]. Как мы уже указывали в пятой главе, белки отнюдь не являются пассивным строительным материалом. Напротив, они представляют собой вещество, наделенное громадными химическими возможностями. Широта этих возможностей определяется как большим разнообразием химических группировок, находящихся на свободных боковых цепях, так и характером их расположения на полипептидном каркасе.

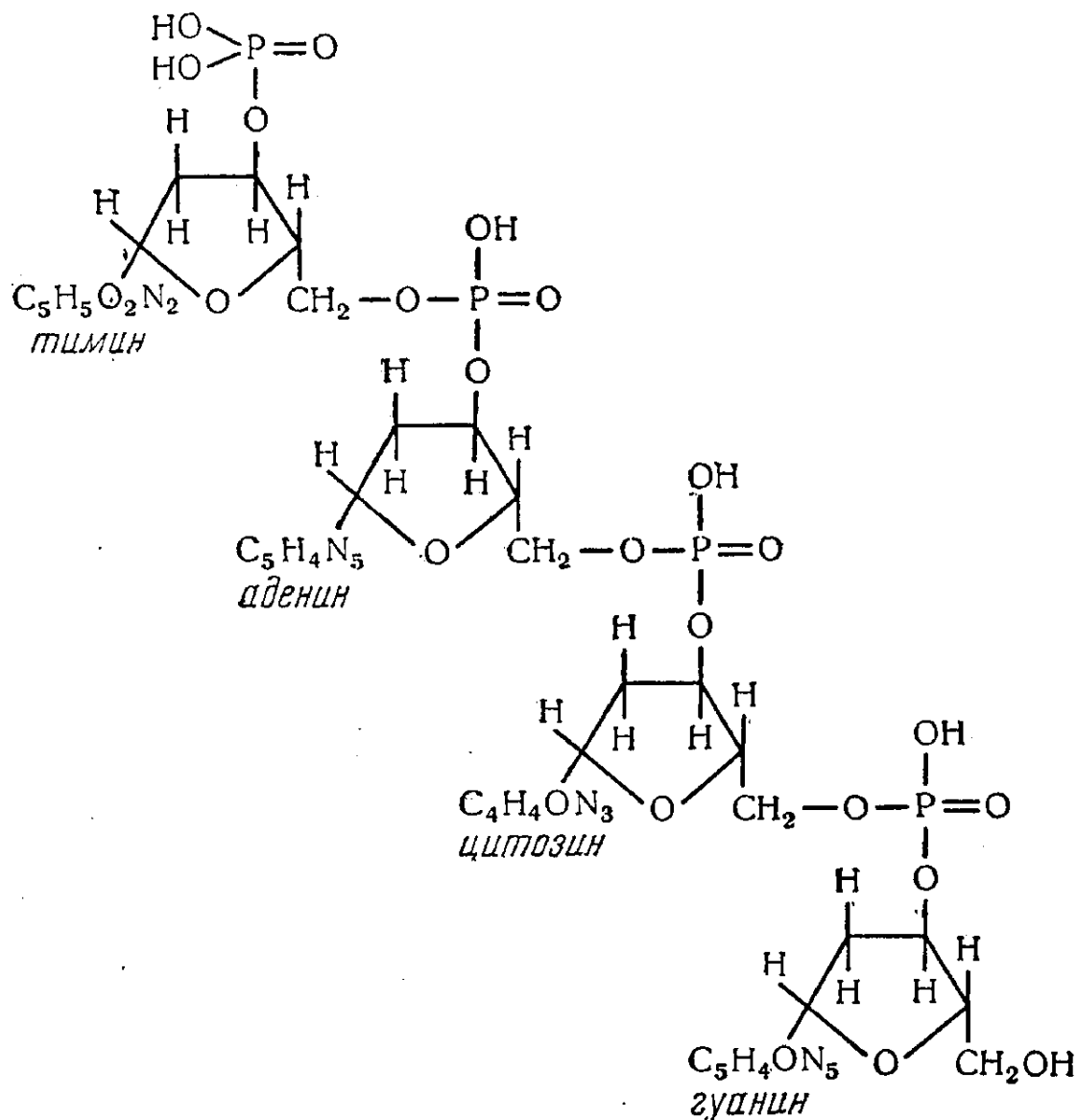
Но нужно иметь в виду, что химик, изучающий белковые вещества, в большинстве случаев имеет дело с запасными белками, так как их легче получить в нужных количествах и в более или менее очищенном виде. Эти белки принимают лишь косвенное участие в обмене веществ, и имеется целый ряд данных, указывающих, что непосредственные ингредиенты протоплазмы являются еще более активными в химическом отношении веществами. В частности, у протоплазменных белков гораздо более ярко выражены окислительно-восстановительные функции, основанные на подвижном равновесии между сульфгидрильной и дисульфидной группами.

Именно высокая химическая активность, а следовательно, и большая неустойчивость (лабильность) протоплазменных белков чрезвычайно затрудняет их выделение в неизменном виде. А. Кизель [19] на основании своих обширных работ указывает на большую легкость интрамолекулярных перегруппировок в протоплазменных белках под влиянием различных даже весьма слабых химических воздействий, совершенно неизбежных в процессе получения белковых препаратов. В результате этих интрамолекулярных перегруппировок происходит значительное снижение химической активности выделенных и подготовленных для исследования белков. Тем не менее, уже и то немногое, что удалось химикам до настоящего времени получить в этой области, всецело подтверждает исключительно высокую активность протоплазменных белков. Анализ показывает, что такие вещества, как, например, пепсин или инсулин, целиком состоят лишь из аминокислотных остатков, т. е. они являются «простыми» белками. Но их высокая специфическая активность не подлежит никакому сомнению.

Вполне естественно, что внутри протоплазмы белки широко используют свои химические возможности и обычно находятся здесь в соединении с другими небелковыми веществами. Поэтому важнейшими (по крайней мере в количественном отношении) ингредиентами живого вещества являются не протеины (простые белки), а протеиды, на что указывали еще

О. Гаммерстен, В. Палладин, А. Коссель, Ф. Чапек и другие.

Среди известных нам протеидов в первую очередь нужно назвать нуклеопротеиды, которые являются основными составными веществами ядра, но которые также входят и в состав цитоплазмы. Нуклеопротеиды представляют собой соединения различных белковых веществ с нуклеиновыми кислотами. В состав нуклеопротеидов клеточного ядра входит так называемая тимонуклеиновая кислота, представляющая собой соединение фосфорной кислоты, дезоксипентозы, пиримидиновых и пуриновых оснований; ниже мы приводим ее формулу, согласно П. Левину [20].



Дезоксипентозонуклеиновая кислота

$(C_{39}H_{51}O_{25}N_{15}P_4)$

В состав естественных нуклеопротеидов тимонуклеиновая кислота входит в виде сильно полимеризованного комплекса, молекулярный вес которого достигает миллиона: повидимому, существует несколько модификаций этой кислоты, но мы, во всяком случае, можем различать тимонуклеиновые кислоты α и β , из них первая является более высоко полимерной.

она нерастворима в воде, но способна к очень далеко идущему набуханию и дает при этом желеобразные сгустки. Тимонуклеиновая кислота в более растворима и менее высоко молекулярна. Эти модификации связаны между собой возможностью взаимного перехода друг в друга.

На ряду с тимонуклеиновой кислотой известна и так называемая дрожжевая нуклеиновая кислота. Она содержит в себе невосстановленную пентозу и является гораздо менее высоко молекулярной и не так сильно агрегированной, как тимонуклеиновая кислота. Как показали исследования М. Беренса, она находится не в ядре, а в цитоплазме и, согласно данным Ж. Браше [21], может служить материалом для построения тимонуклеиновой кислоты.

Обе названные нами нуклеиновые кислоты широко распространены в животном и растительном мире. Мы не знаем ни одной клетки, которая была бы лишена нуклеиновых кислот. В телах бактерий, где еще не произошло дифференцирования клеточного ядра и цитоплазмы, согласно данным А. Белозерского [22], обе формы нуклеиновой кислоты находятся в смешанном состоянии, причем суммарное содержимое нуклеопротеида достигает здесь иной раз 60% сухого веса бактерий. Очень высоко содержание нуклеопротеидов в ультрамикробах, а фильтрующийся вирус мозаичной болезни табака, как это мы видели в первой главе, повидимому, нацело состоит из этого протеида.

Такое повсеместное распространение нуклеопротеидов, с несомненностью, указывает на их большую значимость в составе живого вещества. С одной стороны, эта значимость зависит, как мы увидим ниже, от исключительно ценных коллоидных свойств этих веществ; но, с другой стороны, она, несомненно, связана с их химической активностью. Во всяком случае, нам хорошо известно, что нуклеотиды, — прообразы тех сложных полионуклеотидов, какими являются нуклеиновые кислоты, — играют исключительно важную и весьма активную роль в углеводном и фосфорном обмене веществ.

Очень большое биологическое значение имеют и другие протеиды протоплазмы, в особенности липопротеиды, представляющие собой соединения белков с липоидами, в частности, — с лецитином, холестерином и т. д. Эти вещества являются характерными для цитоплазмы. Но особенно большое количество их сосредоточено в хондриосомах, митохондриях и других форменных элементах, образующих грубодисперсную фазу протоплазмы.

Липопротеиды представляют собой крайне подвижные как в химическом, так и в физико-химическом отношении комплексы. Ряд авторов, подчеркивая большое биологическое значение этих веществ, дает им даже особое название. Например, В. Лепешкин называет их витаидами [11]. На основании опы-

тов с прижизненной окраской он считает, что в живой протоплазме отсутствуют как свободные белки, так и свободные липоиды. Но как только начинается под влиянием тех или иных воздействий отмирание протоплазмы, так сейчас же здесь можно обнаружить как те, так и другие вещества по их характерной способности окрашиваться определенными красителями. Исходя из этого, Лепешкин считает, что в живом веществе белки и липоиды соединены в единый комплекс, который является чрезвычайно лабильным и легко распадается с отделением белка от липоида под влиянием ничтожных воздействий не только химического, но и физического характера. В этом отношении Лепешкин уподобляет витаиды взрывчатым веществам.

То чрезвычайно лабильное состояние, в котором, по мнению Лепешкина, находятся витаиды, может существовать только при постоянном притоке энергии. Поэтому оно совершенно отсутствует в мертвой клетке и является чрезвычайно характерным для живого вещества. При отмирании протоплазмы происходит распад витаидов на белки и липоиды, что, конечно, резко изменяет коллоидо-химические свойства отмирающей протоплазмы и связано с выделением энергии в виде некробиотического излучения и определенного теплового эффекта.

Хотя изложенные представления Лепешкина носят еще весьма гипотетический характер, однако, все относящиеся к данному вопросу факты с большой убедительностью доказывают высокую химическую подвижность и активность липопротеидов.

Целый ряд других известных нам протеидов хотя и находится в живой протоплазме в меньших количествах, чем названные выше, тем не менее они имеют исключительно важное биологическое значение. Сюда относится большинство ферментов, представляющих собой соединения каталитически активной небелковой группы с белковым «носителем», хромопротеиды, глюкотеиды и т. д. Все это вещества, наделенные большой химической активностью, способные вступать в самые разнообразные взаимодействия с другими соединениями, входящими в состав живой протоплазмы.

Но такими широкими химическими возможностями наделены не только белки и их производные, а и целый ряд других химических соединений, которые мы можем выделить из живых организмов и которые принимают самое непосредственное участие в жизненных процессах. Разнообразные витамины, гормоны, пигменты, органические кислоты и т. д. — все это вещества, которые отнюдь нельзя считать инертными в химическом отношении. Напротив, их высокая химическая активность, их способность к ряду превращений и изменений хорошо известна всякому химику, который имел с ними дело.

Таким образом, все что мы знаем о химических свойствах

соединений, входящих в состав живого вещества, находится в коренном противоречии с вышеизложенными представлениями о большой статичности, химической инертности этих соединений и об их роли пассивного строительного материала в машиноподобной конструкции протоплазмы.

Мы несколько задержались на разборе и критике механистических взглядов на организацию живого вещества для того, чтобы показать, как последовательно под давлением неоспоримых фактов механицизм принужден был отступать все на новые и новые позиции. Сперва организацию протоплазмы мыслили как грубую, непосредственно видимую под микроскопом фибролярную, сетчатую или пенистую структуру. Затем эти представления были перенесены в область коллоидной химии, и в качестве «балок», образующих твердую конструкцию протоплазмы, стали выступать отдельные молекулы и мицеллы. Под конец выявилось стремление всю организацию живого вещества и все связанные с нею жизненные явления свести к некоторой интрамолекулярной структуре, к некоторому стационарному расположению атомов в молекуле того или иного химического соединения. Но добытые непосредственными экспериментами факты упрямо противоречили всем этим представлениям. Видимая структура оказалась не чем иным как артефактом, возникающим при фиксации живого вещества; основная масса живой протоплазмы является жидкой, и в ней не удастся установить стационарной неподвижной ориентации нитевидных частичек коллоидо-дисперсной фазы; данные химии опровергают мнение о высокой стабильности и химической инертности основных соединений, входящих в состав живого вещества.

Такого рода положение вполне понятно, так как нельзя мыслить организацию только как определенную структуру, только как некоторую пространственную категорию. Всякую организацию мы должны представить себе не только в пространстве, но и во времени. Ведь мы, например, называем то или иное собрание организованным не только потому, что его сочлены уселись, расположились в пространстве определенным образом, а главным образом потому, что на нем соблюдается определенный порядок, известная последовательность, в которой выступают отдельные ораторы, задаются вопросы, получаются ответы и т. д. Точно так же и для организации протоплазмы чрезвычайно существенным является не только структура, определенная взаимориентация молекулярных комплексов в пространстве, но и определенная гармония совершающихся здесь процессов, определенная взаимосвязь во времени, известная последовательность отдельных химических реакций, физико-химических и морфологических изменений, которые составляют неотъемлемую принадлежность протоплазмы в течение всей ее жизни.

Живое вещество существует, живет только до тех пор, пока через него непрерывным потоком проносятся все новые и новые частицы материи и связанная с нею энергия. Из внешней окружающей среды в протоплазму поступают разнообразные химические соединения. Здесь они подвергаются глубоким изменениям и превращениям. Часть их ассимилируется, входит в состав живого вещества, часть подвергается дальнейшему распаду и разложению, продукты которого вновь выделяются во внешнюю среду. Если прекратить, прервать этот поток вещества и энергии через живую протоплазму, если остановить те процессы, которые здесь совершаются, протоплазма перестанет существовать как таковая, и мы будем иметь уже совершенно иную качественно отличную от живого вещества форму организации материи.

Излюбленной моделью, равняясь на которую механистически настроенные биологи стремились объяснить организацию живого вещества, всегда служил кристалл, именно потому, что основным в организации кристалла является структура — пространственное расположение ионов, атомов или атомных группировок в кристаллической решетке. Но если так уж необходимо для лучшего понимания организации живого вещества подыскать какие-то простейшие модели, то со всей решительностью нужно подчеркнуть, что именно кристалл с его устойчивой статической структурой является наименее подходящим для этого объектом. Гораздо правильнее для указанной цели взять какую-нибудь динамическую систему. Невольно при этом вспоминается выражение Гераклита, что наши тела текут как ручьи и что материя возобновляется в них, как вода в потоке. Именно поток или просто струя воды позволяют нам в простейшем виде понять ряд существеннейших элементов организации таких динамических систем, какою в частности является и живое вещество. Вид струи, ее форма и т. д. являются лишь внешним видимым отображением движения частичек вещества. Самое существование этой системы зависит от того, что через струю все время с определенной скоростью проносятся все новые и новые молекулы воды. Если мы остановим этот процесс, исчезнет и сама струя как таковая.

Аналогично этому и в основе организации живого вещества лежит теснейшая связь между процессом и формой, структурой и обменом веществ. И здесь, как в струе воды, структура, форма является только внешним, видимым выражением некоторого чрезвычайно подвижного равновесия тех химических и физико-химических процессов, которые непрерывной чередой совершаются внутри живого вещества. Ведущим здесь является химический процесс или, вернее, целая цепь закономерных связанных, строго согласованных между собой реакций, в результате которых происходит синтез, образование

определенных органических веществ, наделенных известными химическими и физическими свойствами. На основе этого создается определенное коллоидное состояние вещества, и возникает подвижная структура, которая существует только постольку, поскольку сохраняются направляющие силы, вызывающие определенную ориентацию частиц. В дальнейшем эта ориентация может приобретать более устойчивый характер и закрепляться в форме видимых нами морфологических образований. На ряду с этим порождаемые химическим процессом органические вещества, физико-химические отношения и морфологические структуры, в свою очередь, оказывают решающее влияние на самый ход химических реакций, на их направление и взаимосвязь, на всю организацию протоплазмы во времени.

Таким образом, организация в пространстве и организация во времени, форма и процесс, в живом веществе слиты в единое взаимопроникающее целое. Нельзя мыслить обмен и структуру только как что-то приданное одно другому, что может существовать и независимо одно от другого. Структура и обмен есть две стороны одной и той же медали. Этого мнения придерживаются сейчас уже многие передовые биологи, которые считают, что успешное продвижение по пути познания организации живого вещества может быть осуществлено только на основе тесного содружества, совместной работы морфолога и биохимика, только при согласованном изучении этой организации как в пространстве, так и во времени.

Как мы видели выше, над структурой протоплазмы работали многочисленные исследователи в течение многих десятков лет. Конечно, этот труд не пропал даром, и на его основании был собран громадный фактический материал. Но, вследствие неправильных механистических предпосылок, этот длинный путь был более богат разочарованиями, чем успехами, давал больше материала для сомнений и критики, чем для положительных выводов. И до сих пор, к сожалению, наши представления о пространственной организации живого вещества остаются еще довольно туманными, более основанными на гипотезах, чем на неоспоримых фактах. Между тем, организация протоплазмы во времени, организованность обмена веществ сама собой бросается в глаза уже при первоначальном поверхностном знакомстве с любым живым объектом. Поэтому для удобства изложения мы прежде всего познакомимся с этой стороной организации живого вещества.

Указанная форма организации выражается в том, что из хаоса разнообразнейших химических превращений, на которые способны органические вещества, входящие в состав протоплазмы, здесь выделяются определенные реакции, строго ограниченные пути химического развития, закономерно связанные между собой в сложные процессы, служащие основой жизненных явлений. Любое химическое соединение, которое

вне организма может реагировать в самых разнообразных направлениях, войдя в состав живого вещества, изменяется уже не случайно, не «как-нибудь», а вполне определенно, закономерно, «организованно».

Что же определяет собой эту организованность протоплазмы во времени? От чего зависит определенная взаимосвязь, определенная последовательность химических реакций, закономерно сменяющих друг друга в длинной цепи химических превращений, идущих внутри живого вещества?

Основным решающим фактором здесь является скорость или, точнее, соотношение скоростей отдельных химических процессов, совершающихся в протоплазме. Так, например, как мы указывали в пятой главе, и процесс спиртового, и процесс молочнокислого брожения представляют собой длинные цепи химических реакций, весьма точно согласованных между собой. Как в том, так и в другом брожении на определенной стадии в качестве промежуточного продукта возникает пировиноградная кислота. Но в дрожжевой клетке она чрезвычайно быстро распадается дальше на углекислоту и ацетальдегид. Вследствие этого она не может подвергнуться каким-либо иным изменениям. Напротив, в молочнокислых бактериях отсутствует тот фактор, который ускоряет распад пировиноградной кислоты. Поэтому эта последняя здесь успевает подвергнуться окислительно-восстановительному изменению и превращается в молочную кислоту. Таким образом, в зависимости от соотношения скоростей реакции декарбоксилирования и реакции Каниццаро мы в конечном итоге получаем либо то, либо другое вещество и говорим, что для организации дрожжевой клетки является характерным сбраживание сахара в углекислоту и спирт, а для организации бактерии — молочнокислое брожение.

Но в чем же конкретно состоит эта форма организации живого вещества? Что представляет собой фактор, который изменяет скорости отдельных реакций внутри протоплазмы и создает определенную направленность всей совокупности биохимических процессов в целом?

Как мы уже имели случай отметить, для органических веществ является чрезвычайно характерным то, что они, обладая колоссальными химическими возможностями, обладая способностью реагировать в ряде направлений, используют эти возможности сравнительно лениво, медленно, с относительно малой скоростью. Именно поэтому химик-органик применяет для своих синтезов описанные нами выше сильно действующие вещества: кислоты, щелочи, галлоиды и т. д. Этим путем он стремится, так сказать, подхлестнуть, ускорить ход химических взаимодействий между органическими веществами.

На ряду с этим, в настоящее время в препаративной химии и в заводской практике в качестве особых ускорителей химических реакций нашли самое широкое применение и раз-

нообразные катализаторы. Под этим названием понимают такого рода примеси, которые, присутствуя даже в очень небольших количествах в реакционной смеси, чрезвычайно сильно увеличивают скорость течения тех или иных реакций. При этом для катализатора характерно то, что он сам не изменяется в процессе реакции и после ее окончания остается в том же количестве, в каком был прибавлен в начале; он действует как бы «одним своим присутствием», не входя в состав продуктов реакции. Именно поэтому достаточно бывает уже очень небольшого количества катализатора, чтобы вызвать быстро идущие превращения очень значительных масс реагирующих между собой веществ.

В качестве катализаторов в органической химии широкое применение находят разнообразные металлы, их окиси, различные ионы (в особенности водородные и гидроксильные ионы), галлоиды и ряд разнообразных солей. В последние годы очень большое внимание исследователей привлекает к себе действие смеси катализаторов. Из лабораторной и заводской практики известно, что очень часто смесь двух или нескольких веществ действует каталитически значительно сильнее, чем каждый из них в отдельности. В некоторых случаях даже прибавление веществ, неактивных самих по себе, сильно увеличивает действие катализаторов.

Применение этих вторичных катализаторов, так называемых промоторов, имеет большое практическое значение, вследствие чего по указанному вопросу создавалась уже весьма обширная специальная литература. Мы здесь отметим только работы школы А. Миташа, собравшего на основании многолетних опытов в лаборатории Баденской анилиновой и содовой фабрики обширный материал по указанному вопросу. В частности, этот материал показывает, что применение промоторов играет громадную роль в ряде тонких органических синтезов, например, в синтезе анилиновых красок. Дело здесь заключается в том, что добавление промоторов к катализатору не только увеличивает каталитическую активность последнего, но и придает его действию избирательный характер, известную специфичность. Обычно неорганический катализатор является довольно универсальным и может ускорять различные реакции. При добавлении промотора каталитическое действие приобретает специфический характер, и полученная в результате система каталитически ускоряет только определенный довольно узкий круг химических превращений. Это создает большие преимущества в органическом синтезе.

Представим себе какое-нибудь органическое вещество *A*, которое может превращаться в вещества *B*, *C*, *D* и т. д. На прилагаемой схеме (рис. 14) скорости этих превращений изображены радиусами-векторами. Мы видим, что скорость превращения вещества *A* в вещество *B* во взятом нами случае в 7 раз

больше, чем скорость превращения A в D . В вещество C A превращается в два раза скорее, чем в вещество D . Из приведенной схемы понятно, что по истечении определенного времени, когда исчезнет весь запас тела A , мы в смеси будем иметь 70% B , 20% C и 10% D . Мы можем сказать, что при данных условиях мы получили довольно приличный выход вещества B и весьма плохой выход вещества D .

Если бы мы стали применять в описанном нами случае какие-либо воздействия, которые равномерно увеличивают скорость всех реакций (например, повышение температуры или действие неспецифического катализатора), то этим мы несколько не изменили бы соотношения выходов. В частности,

выход вещества D остался бы попрежнему небольшим. Но если мы применим такой катализатор, который специфически во много раз (например, в несколько тысяч раз) ускоряет реакцию превращения A в D , не затрагивая скорости реакций $A \rightarrow B$ и $A \rightarrow C$, мы получим совершенно иной эффект, у нас почти все вещество A нацело превратится в D , а B и C будут составлять лишь ничтожные примеси. Точно так же, увеличив скорость реакции $A \rightarrow C$, мы все вещество A почти целиком превратим в вещество C . Я имел случай наблюдать химический опыт, который с внешней стороны походил на фокус. В два сосуда разливалась одна и та же смесь органических веществ, затем в первый сосуд добавлялся один специфический катализатор, а во второй другой катализатор. В результате этого в первом сосуде образовалась красная, а во втором синяя краска. Таким образом, специфически действующий катализатор направлял течение химической реакции в ту или в другую сторону.

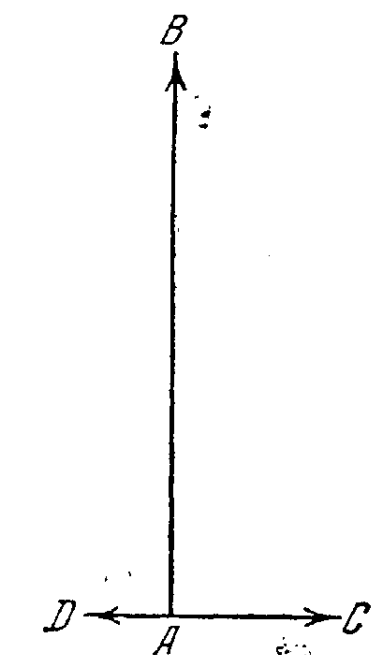


Рис. 14. Схема превращения вещества A в вещества B , C и D .

катализатор направлял течение химической реакции в ту или в другую сторону.

Чрезвычайно характерным для живой протоплазмы является то, что в ней органические вещества претерпевают химические превращения с исключительно большой скоростью. Эта скорость настолько велика, что ее даже трудно сравнивать с тем, что мы имеем вне живой клетки. Если бы внутри протоплазмы химические реакции протекали с той же скоростью, что и вне ее, то жизнь с ее бурными темпами была бы вообще невозможна.

Эту способность протоплазмы чрезвычайно увеличивать скорость химических превращений мы должны признать одной из наиболее характерных особенностей живого вещества. Эта способность настолько бросается в глаза и настолько отличает живое вещество от окружающей материи, что еще сравнительно недавно она приписывалась действию особой «жизненной» силы.

Мы, конечно, должны откинуть такого рода виталистическую трактовку данного явления. Оно представляет собой лишь особенность организации живой материи, и современные биохимические данные позволяют нам в деталях разобраться, в чем собственно эта организация состоит.

Ключом к пониманию указанной формы организации является учение о ферментах [23]. Согласно этому учению, причина большой скорости реакций внутри живой протоплазмы лежит в том, что всегда в ней находится большое число разнообразных специфически действующих катализаторов, носящих название ферментов. Без ферментов нет жизни. Ферменты представляют собой необходимую составную часть живого вещества, лежат в основе его организации. Мы не знаем ни одного живого существа, в котором отсутствовали бы ферменты. Они обуславливают быстрое течение всех важнейших биохимических реакций. «Если бы не было окислительных ферментов, — писал Шёнбейн, — организмы так же задыхались бы в океане чистого кислорода, как и в пустом пространстве». И действительно, во всех тех случаях, когда мы путем внешних воздействий затрудняем деятельность ферментов (например, при высушивании семян или при глубоком охлаждении организмов), жизненные процессы чрезвычайно сильно замедляются, и организм впадает в анабиотическое состояние, или даже они полностью останавливаются, и тогда наступает смерть.

Наиболее важным, характерным для всех ферментов свойством является их каталитическое действие, способность увеличивать во много раз скорость биохимических реакций. В этом состоит их функция в живой протоплазме, и нужно отметить, что в клетках современных организмов эта функция выполняется ферментами с высокой степенью «совершенства». Ферменты отличаются от всех остальных катализаторов исключительной, прямо поражающей силой и высокой специфичностью своего действия. Мы знаем целый ряд неорганических и органических веществ, которые могут вызывать или, точнее, ускорять те же реакции, что и известные нам ферменты. Но в отношении силы каталитического действия здесь не может быть никакого сравнения. Так, например, пигмент крови — гемоглобин, подобно ферменту пероксидазе, катализирует окисление полифенолов перекисью водорода. Но по данным Вильштеттера, его препарат пероксидазы обладал в 30 тыс. раз более сильными каталитическими свойствами, чем равное количество чистого кристаллического гемоглобина. Водородный ион гидролизует тростниковый сахар так же, как и фермент инвертаза. Но, по Эйлеру, дрожжевая инвертаза разлагает тростниковый сахар в 10 млн. раз энергичнее, чем неорганический катализатор — водородный ион. По Лангенбеку, метиламин ($\text{CH}_3 \cdot \text{NH}_2$) обладает способностью катализировать реакцию распада пировиноградной кислоты на уксусный

альдегид и углекислоты. Но каталитическая активность дрожжевого фермента карбоксилазы примерно в 30 млн. раз выше, чем активность метиламина. Ион железа разлагает перекись водорода на кислород и воду. Фермент каталаза обладает тем же действием. Но тогда как один моль железа в неорганическом виде в 1 сек. при 0° разлагает 10^{-5} моля H_2O_2 , каталаза при тех же условиях и в тот же срок расщепляет 10^5 моля H_2O_2 , т. е. в 10 млрд. раз больше!

Точно так же нужно отметить и исключительно высокую специфичность ферментативного действия. Действие неорганических катализаторов является довольно универсальным. Так, например, при помощи водородного иона мы в равной степени можем осуществить гидролиз тростникового сахара, мальтозы, крахмала, белков и других веществ. Ферменты действуют строго специфично, катализируя только определенную реакцию, например, гидролитически разрывая связь между вполне определенными атомными группировками и совершенно не затрагивая других весьма близких по своему характеру соединений. Поэтому, если мы имеем какое-либо органическое вещество, способное к ряду химических изменений, то в присутствии того или иного фермента оно будет реагировать только в одном строго определенном направлении. Так, например, пировиноградная кислота в присутствии фермента карбоксилазы будет целиком распадаться на углекислоту и ацетальдегид, а в присутствии специфической оксидоредуктазы — превращаться в молочную кислоту. И это вполне понятно, так как фермент, избирательно увеличивая скорость какой-либо определенной реакции во многие миллионы раз, совершенно исключает возможность каких-либо иных превращений, на которые способно данное органическое вещество.

Следовательно, наличие или отсутствие того или иного фермента может решить судьбу данного химического соединения в протоплазме, определить тот путь, по которому пойдет превращение этого соединения в живом веществе. Благодаря этому создаются предпосылки для очень тонкого регулирования биохимической реакции.

Таким образом, в ферментах живая протоплазма имеет исключительно совершенный, чрезвычайно рациональный, если можно так выразиться, инструмент для ускорения и направления происходящих в живом веществе химических реакций. Мы при всем совершенстве нашей техники еще не сумели до сего времени создать такие мощные специфически действующие ускорители, какими располагает живая природа.

Но ферменты представляют собой только первичную, простейшую форму химической организации живого вещества. Отдельная реакция, катализируемая тем или иным ферментом, взятая сама по себе в изолированном виде, еще не может иметь какого-либо решающего значения во внутреннем химическом

хозяйстве протоплазмы. Ее значение выявляется и определяется только ее строгим координированием со всеми остальными химическими превращениями, только тогда, когда она является одним из звеньев длинной цепи химических преобразований живого вещества.

Обнаруживаемые нами в живой протоплазме органические соединения очень редко возникают здесь в результате какой-либо одной реакции. Обычно они образуются благодаря сочетанию ряда химических изменений, определенным образом следующих друг за другом. Точно так же и такие жизненные явления, как, например, ассимиляция, брожение, дыхание, рост и т. д., представляют собою длинные цепи химических изменений вещества и связанных с этими изменениями превращений энергии. Для осуществления этих явлений уже недостаточно того, чтобы вещества, входящие в состав протоплазмы, изменялись с большой скоростью и определенным образом. Необходимо, чтобы отдельные элементарные реакции, составляющие звенья указанных выше химических цепей, строго координировались между собой во времени: одна реакция должна сменять другую в определенной последовательности, так как всякое нарушение этой последовательности ведет к коренному изменению всей равнодействующей процесса.

Мы рассмотрим эту более высокую форму организации живого вещества на примере спиртового брожения. Как мы видели выше, это явление представляет собой длинную цепь последовательно идущих друг за другом химических реакций. Но отдельные звенья этой цепи, отдельные элементарные превращения настолько хорошо, плотно пригнаны друг к другу, что весь процесс в целом воспринимается нами, как простое непосредственное превращение сахара в углекислоту и спирт, согласно уравнению Гей-Люссака:



Даже весьма тщательные наблюдения не дают возможности открыть при нормальном сбраживании сахара дрожжами накопления каких-либо промежуточных продуктов. Весь процесс идет по одному строго определенному пути, не допускающему каких-либо боковых ответвлений. На ряду с этим в клетках дрожжей спиртовое брожение тесно связано со всем жизненным процессом. Оно является источником энергии для этого процесса и поэтому имеет самое непосредственное отношение к явлениям роста, развития и размножения клеток. Организационная основа брожения весьма интимно связана с общей организацией протоплазмы. Это в свое время позволило Л. Пастеру [24] утверждать, что: «химический акт брожения есть по существу явление, связанное с жизненным актом, начинающееся и останавливающееся вместе с ним; никогда не бывает истинного алкогольного брожения без одновременной организации, развития, размноже-

ния клеток или продолжающейся жизни уже образованных клеток».

Последнее утверждение было на грани XIX—XX вв. экспериментально опровергнуто Э. Бухнером, который, применив давление в 300 атмосфер, выжал из дрожжей сок, способный вызывать сбраживание сахара и в отсутствии живых клеток. Э. Бухнер считал, что таким путем он получил фермент брожения, который он и назвал «зимазой». Но уже очень скоро было показано, что зимаза не представляет собой индивидуального фермента, а является целой системой, в которой участвуют многие разнообразные ферменты, коферменты и активаторы. Таким образом, зимаза представляет собой форму организации более высокого порядка, чем это имеется в индивидуальном ферменте. Ее изолирование открыло широкую дорогу для детального ознакомления с этой формой организации живого вещества. С одной стороны, путем такой изоляции зимазы можно эмансипировать процесс брожения от всех остальных жизненных явлений, с которыми он связан в живой клетке, с другой — при внеклеточном брожении легче расшатать, разладить ту гармоническую связь, которая существует между отдельными звеньями и не позволяет уловить промежуточные этапы процесса сбраживания сахара дрожжами. Это создает предпосылки для изолирования отдельных звеньев цепи и их детального изучения.

Интенсивное изучение процесса брожения, которое велось в течение последних 40 лет и в конечном итоге дало сейчас блестящие результаты, развивалось по двум направлениям. С одной стороны, изучались отдельные промежуточные реакции, составляющие реальные звенья всей цепи спиртового брожения, с другой стороны, велась глубокая конкретизация химической сущности этих реакций, выяснялся конкретный химический механизм участия различных ферментных систем на отдельных ступенях всего этого процесса.

В настоящее время мы уже довольно точно знаем, из каких последовательных реакций составляется процесс спиртового брожения. Эти промежуточные реакции весьма многочисленны. Схему спиртового брожения, приведенную нами на стр. 110, нужно рассматривать лишь как приближенную, специально несколько упрощенную. На самом деле она еще сложнее, еще больше в ней промежуточных звеньев, которые мы для облегчения понимания опустили из нашей схемы. В соответствии с этим находится и то большое число индивидуальных ферментов или целых ферментных комплексов, которые специфически катализируют каждую промежуточную реакцию. Мы здесь назовем только основные группы этих ферментов. Это прежде всего фосфотазы, осуществляющие фосфорилирование сахара и дефосфорилирование промежуточных продуктов брожения или вызывающие миграцию радикала фосфорной кислоты в пределах одной молекулы (фосфоглицеромутаза). Далее идут изомеразы, ферменты, осуществляю-

щие взаимный переход кетонных и альдегидных группировок на стадии фосфорных эфиров гексоз или триоз. Фермент альдолаза катализирует обратимую реакцию распада и синтеза между гексозо-дифосфатом и фосфотриозами. Центральное место в процессе брожения занимают оксидоредуказы, катализирующие окислительно-восстановительные реакции, идущие между фосфотриозами и между фосфотриозой и ацетальдегидом. Наконец, нужно еще назвать ферменты энолазу, превращающую фосфорный эфир глицериновой кислоты в соответствующий дериват пировиноградной кислоты, и карбоксилазу, разлагающую пировиноградную кислоту на углекислоту и ацетальдегид [25].

Каждый из перечисленных ферментов занимает свое ответственное место в процессе брожения, является необходимейшей частью всей этой единой весьма целостной организационной системы. Можно путем специфического отравления или удаления кофермента избирательно инактивировать какой-либо один фермент, исключить его действие из общей цепи химических реакций. Но тогда сейчас же разрывается и вся цепь, брожение останавливается или очень сильно искажается.

В настоящее время большинство ферментов зимазного комплекса изучено весьма детально. Многие из них выделены и получены в индивидуальном виде, установлена их химическая природа, характер действия и зависимость этого действия от внешних условий. На ряду с этой аналитической работой велся и синтез: воспроизведение не только отдельных реакций, но и целых совокупностей их. За последнее время осуществлено, практически говоря, воспроизведение почти всего процесса в целом за счет искусственных систем, сконструированных из изолированных ферментов и коферментов. Таким образом, мы настолько глубоко проникли в понимание той организации живого вещества, которая лежит в основе брожения, что даже можем ее до известной степени воссоздавать.

Что же представляет собой эта форма организации? В схеме зимаза представляет определенное строго закономерное сочетание ферментов, биологический комплекс, где каждый фермент является необходимой составной частью всего целого. В этом комплексе мы не имеем какой-либо пространственной локализации или взаимоориентации частей, никакой структуры. Здесь ферменты находятся просто в растворе, и организация всей системы зиждется на той последовательности во времени, с которой одна промежуточная реакция сменяет другую. Эта последовательность обусловлена при внеклеточном брожении только тем, что для каждого промежуточного продукта в зимазном комплексе существует свой специфический фермент, который ведет этот продукт дальше во вполне определенном направлении. Всякого рода иные превращения этого продукта исключены в силу того, что за отсутствием соответствующих катализаторов они идут несравненно медленнее, чем та реакция, которая ускоряется ферментом.

Таким образом, на примере внеклеточного брожения мы видим, что определенная последовательность реакций, определенная организация обмена веществ может быть достигнута и в отсутствии каких-либо твердых перегородок, каких-либо ячеек, пространственно отделяющих одну реакцию от другой. И в гомогенной смеси вещество может претерпевать ряд последовательно идущих превращений, но здесь эта последовательность определяется не тем, что указанное вещество из «одного отделения фабрики последовательно переходит в другое», а известным разделением реакций во времени, основанном на соотношении их скоростей.

Сейчас же, однако, нужно подчеркнуть, что живое вещество отнюдь не является простой смесью, простым гомогенным раствором различных органических соединений, ферментов, коферментов и т. д. Общая организация протоплазмы несравненно сложнее и совершеннее зимазного комплекса. Этот комплекс является только упрощенной моделью, только некоторой частной формой организации, которую мы искусственно изолируем из живого вещества для того, чтобы легче ее изучить и понять.

Для работы зимазного комплекса и аналогичных искусственно составленных систем в первую очередь важна качественная сторона дела, наличие всех необходимых составных частей комплекса. В живой протоплазме не только всегда имеется определенный характерный для данной протоплазмы набор ферментов, но и, что особенно важно, их количество, точнее, — их взаимная активность является строго отрегулированной.

Легко понять, какое громадное значение имеет эта точная количественная регулировка ферментативной активности для более гладкого, более согласованного течения сложных комплексных процессов. В особенности она важна тогда, когда один и тот же субстрат может подвергаться воздействию нескольких ферментов и в зависимости от этого изменяться в том или другом направлении. Некоторые весьма важные жизненные явления вообще не могут быть осуществлены без такого рода строгой количественной регулировки. Так, например, мною [26] было показано, что дыхание растительной клетки может протекать нормально только в том случае, когда процесс окисления хромогенов в дыхательные пигменты и обратное восстановление пигментов в хромогены чрезвычайно точно согласованы между собой, когда их скорости находятся в совершенно определенных количественных соотношениях. Если же не пропорционально увеличить скорость окисления, то образующийся дыхательный пигмент не будет успевать восстанавливаться, а будет подвергаться дальнейшему окислению с образованием стойкого коричневого вещества, которое не способно к каким-либо дальнейшим химическим превращениям. В результате этого скоро весь хромоген будет переведен в это недействительное состояние, и процесс дыхания остановится. Этим, в частности, можно объяснить тот уста-

новленный еще Пфееффером парадоксальный факт, что можно задушить растения, повышая парциальное давление кислорода в окружающей их атмосфере. То же происходит и при механическом разрушении растительной клетки, когда нарушается соотношение в активности оксидаз и оксидоредуктаз.

В живом веществе мы имеем большое разнообразие средств, при помощи которых протоплазма может количественно регулировать свою каталитическую деятельность. Прежде всего здесь, конечно, нужно назвать прямое изменение количества того или иного фермента путем его новообразования или необратимого разрушения. На ряду с этим во многих случаях удастся наблюдать переход ферментов в недействительное состояние и обратное их реактирование. Большое значение имеет также возникновение или исчезновение различного рода веществ, специфически активирующих или, наоборот, парализующих, тормозящих ферментативное действие [27]. Наконец, существенная роль в деле регулирования ферментативной активности принадлежит изменениям реакции среды и окислительно-восстановительного потенциала внутри протоплазмы [28].

Благодаря действию всех этих добавочных «химических механизмов», теснейшим образом связанных с той физико-химической обстановкой, которая создается в каждый данный момент внутри живого вещества, устанавливаются очень точные количественные соотношения между скоростями отдельных ферментных реакций. Но эти соотношения могут сильно варьировать не только в различных организмах, но и в одной и той же клетке в разные периоды ее существования и в зависимости от воздействия различных внешних и внутренних условий. Все это характеризует данную форму организации живого вещества как очень подвижную, гибкую, но вместе с тем и весьма совершенную.

Как мы видели выше, протоплазма представляет собой сложную коллоидную систему, коацерватоподобную интермицеллярную субстанцию, в которой взвешены нитевидные коллоидные мицеллы и видимые под микроскопом грубо дисперсные частицы, жидкие капельки и твердые микрозомы или гранулы. Если мы тем или иным, например, механическим путем разрушим эту систему, то таким образом мы грубо нарушим ту физико-химическую обстановку, о которой мы говорили выше. В результате этого нарушится и количественное соотношение в активности ферментов, изменится соотношение скоростей отдельных реакций, и все течение химических процессов, вся организация во времени примет совершенно иной искаженный характер.

Таким образом, если первоначальные более простые формы организации живого вещества могут всецело базироваться лишь на соотношении процессов во времени, то при переходе на более высокую ступень организации большое значение уже приобретают пространственные отношения, структура. За последнее время все более и более выясняются те конкретные формы, в которых

выражается влияние структуры на скорость и направление биохимических процессов. В частности, все более и более накапливаются факты, показывающие, что в живой протоплазме ферменты, входящие в состав одного и того же комплекса, являющиеся, так сказать, частями одного и того же химического механизма (например, дыхания, брожения и т. д.), как-то взаимно связаны между собой, каким-то образом расположены в отношении друг друга в пространстве.

Так, например, К. Штерн [29] на основании своих опытов с ультрацентрифугированием и электрофорезом показал, что все ферменты дыхательного комплекса, повидимому, соединены, так сказать, «смонтированы» на одном и том же белковом агрегате или на одной громадной белковой частице.

Понятно, что эта пространственная локализация, взаимоориентация ферментов в значительной степени способствует более гладкому течению сложных комплексных процессов. Это мы, действительно, и наблюдаем, когда сравниваем характер этих процессов в живой клетке и в искусственно составленных ферментных смесях. Так, например, согласно Гаазу [30], цитрохом внутри живой клетки в течение минуты успевает подвергнуться окислению и обратному восстановлению 4 тыс. раз, а в растворе соответствующих ферментов он за то же время претерпевает указанное превращение только 30 раз.

Даже процесс спиртового брожения, который, как мы видели, может происходить и просто в растворе, в живой протоплазме при наличии определенной структуры совершается во много раз скорее, чем это имеет место в бухнеровском соке. Но, что самое главное, в этом последнем случае процесс брожения идет как бы на холостом ходу. Здесь вся энергия, образующаяся при разложении сахара до углекислоты и спирта, теряется, рассеивается в виде тепла, тогда как в живой клетке вследствие строгой координации химических процессов известная ее часть используется для построения живого вещества. Точно так же и использование химической энергии мышечным волокном у животных зависит от того, что некоторые из ферментов, обуславливающие правильное течение гликолиза, теснейшим образом связаны со структурным материалом самого мышечного волокна (В. Энгельгардт и М. Любимова).

Параллельно с этим работами последних лет было показано, что структура протоплазмы не только играет весьма существенную роль при регулировании ферментативной активности [31], но что она определяет собою даже направленность ферментативного действия. Еще Вант-Гофф указывал, что ферменты, как и прочие катализаторы, должны увеличивать скорость обратимых реакций не только в прямом, но и в обратном направлении. Так, например, гидролитические ферменты должны не только разлагать крахмал, белки и т. д., но и синтезировать эти вещества из продуктов распада. Это положение было экспериментально подтверждено Крофт-Гиллом и рядом последующих авторов.

Однако в условиях водных растворов и тех обычных концентраций веществ, с которыми мы имеем дело, выделенные из живой клетки ферменты действуют главным образом в направлении гидролиза. Именно по скорости этого процесса мы и судим обычно об активности ферментативных препаратов. Если мы добавим, например, препарат выделенного из дрожжей фермента инвертазы к раствору тростникового сахара, то вскоре этот последний почти полностью распадается на глюкозу и фруктозу. Напротив, в живых клетках, например, в клетках корня сахарной свеклы, тростниковый сахар весьма энергично синтезируется из указанных продуктов распада.

Произведенные в моей лаборатории исследования (работы А. Курсанова, Б. Рубина, Н. Сисакяна и др. [32]) показали, что это различие в ферментативном действии основано на том, что в живой протоплазме ферменты находятся в двух различных состояниях. Часть фермента присутствует здесь в растворе и действует точно так же, как и раствор изолированного фермента, т. е. в направлении распада. Другая часть фермента связана, адсорбирована на протоплазменных структурах. Эта часть катализирует синтез соответствующих веществ. Так, например, если взять раствор дрожжевой инвертазы, который действует только в направлении гидролиза тростникового сахара, и инфильтрировать его в живой лист растения, то как только инвертаза будет связана протоплазменными структурами, она сейчас же приобретает способность к синтезу сахара.

Таким образом, только при наличии определенных протоплазменных структур, способных адсорбировать ферменты, возможен быстрый синтез тех сложных органических веществ, которые являются материалом для построения протоплазмы. В зависимости от того, какая часть фермента в данной живой клетке будет находиться в растворенном и какая в адсорбированном состоянии, будет изменяться здесь и соотношение между распадом и синтезом. Равновесие будет смещаться или в сторону новообразования сложных веществ или в сторону их разложения, распада. Как показали наши исследования, эти соотношения между синтезом и гидролизом могут очень сильно смещаться под влиянием ряда различных воздействий. Но основной причиной, определяющей ту или иную направленность биохимических процессов, является внутренняя организация данного протоплазменного образования, наличие в ней структур, способных определенным образом адсорбировать тот или иной фермент.

Что же это за структуры, которые могут оказывать такое решающее влияние на скорость и направление биохимических процессов? Непосредственное наблюдение ряда цитологов показывает, что такими центрами ферментной адсорбции в первую очередь могут являться частицы грубодисперсной фазы протоплазмы: хондриозомы или митохондрии, гранулы и т. д. Таким образом, нам не нужно выдумывать каких-то таинственных живых

структур поскольку мы их непосредственно можем увидеть под микроскопом.

В свете стремления обязательно найти в протоплазме какую-то сложную машиноподобную конструкцию указанным образованиям часто уделяли недостаточное внимание, но еще Р. Альтман [33] (1886 г.) с чрезвычайной прозорливостью рассмотрел ту исключительно важную роль, которую они играют в организации живого вещества. В своей книге «*Studien über die Zelle*» («Изучение клетки») Альтман весьма убедительно доказывает, что синтетические процессы, как в растительных, так и в животных клетках, не рассеяны диффузно по всей протоплазме, а связаны с определенными структурными образованиями, которые он назвал гранулами. Впоследствии Г. Левитский [34] подтвердил эту мысль и показал, что как сами митохондрии, так и пластиды растений, которые по существу являются видоизмененными митохондриями, приспособлены к несению специфических биохимических функций: к синтезу пигментов, крахмала, жира, белка и других веществ. Это же положение о локализации синтетических процессов на форменных элементах протоплазмы отстаивал и А. Гильермонт [35] на основании своих наблюдений над митохондриями. В более позднее время Э. Мак Бридл [36] в результате тщательной ревизии существующих на этот счет фактов и представлений снова подтвердил синтетические функции пластид и митохондрий.

Особый интерес с разбираемой нами точки зрения представляют опыты и наблюдения Э. Хорнинга [37] над синтезом и распадом белков и сложных углеводов в клетках инфузорий и высших растений. Эти наблюдения показывают, что синтез названных веществ происходит непосредственно в связи с митохондриями, тогда как, напротив, при гидролизе митохондрии частично растворяются, таким путем освобождаются связанные в них ферменты, которые и действуют гидролитически уже после того, как они перешли в раствор.

Как мы указывали выше, митохондрии представляют собой жидкие образования белковолипидной природы. Вследствие высокого содержания липоидов они отделены от остальной массы протоплазмы ясно выраженными поверхностями. Эти поверхности и создают условия для локализации ферментов и соответствующего регулирования биохимических реакций. За последнее время все больше накапливается фактов, показывающих, что адсорбция ферментов митохондриями и другими форменными элементами протоплазмы может носить избирательный характер. Вследствие этого различные ферменты могут пространственно локализоваться в различных пунктах живого вещества.

На ряду с той очевидной ролью, которую мы непосредственно устанавливаем в отношении грубодисперсной фазы протоплазмы, можно предполагать, что и мицеллярная фаза не остается безучастной в деле регулирования биохимических процессов.

Эта фаза, нитевидные коллоидные мицеллы, взвешенные в основной интрамицеллярной протоплазменной среде, наделены еще большей суммарной поверхностью, чем грубодисперсные частицы, и поэтому их влияние на скорость и направление биохимических реакций должно быть еще более значительным. Но в отношении этого мы еще не располагаем каким-либо достоверным фактическим материалом.

Нужно отметить, что даже самое состояние этих частиц внутри протоплазмы является в некоторых отношениях загадочным. Вследствие взаимодействия аминокислотных остатков (боковых цепей) белковая молекула, находясь в водном растворе, не может быть представлена в виде развернутой нити. Она обязательно должна закономерно скручиваться в клубок. Только при денатурации естественный растворимый белок переходит в новое состояние, при котором путем определенных приемов можно доказать наличие развернутых цепей [38]. Д. Талмуд [39] связывает это явление с рацемизацией аминокислотных остатков, так как при образовании различных оптических конфигураций этих остатков их закономерное взаимодействие нарушается, и клубок сам собой должен раскручиваться. Но при этом теряется и гидрофильность белка, и он обычно выпадает в виде осадка. То же явление раскручивания полипептидных цепей и превращение глобулярных белков в нитевидные наблюдал И. Лэнгмюр [13] при образовании монослоев на границе между водой и воздухом. Это осуществляется благодаря силам, действующим на поверхности. При этом гидрофильные части полипептидных цепей остаются в соприкосновении с водой, а гидрофобные выходят на поверхность раздела воздух — вода. Таким образом, весь монослой представляет собой как бы сетку, плавающую на поверхности воды благодаря пробкам (гидрофобным группам), распределенным по ее поверхности. Но при этих условиях белки теряют свою растворимость, частично денатурируются.

В живой протоплазме мы имеем не глобулы, а длинные нитевидные мицеллы. Но вместе с тем эти мицеллы обладают ярко выраженным гидрофильным характером, так как, согласно А. Гильермону [12], они невидимы в ультрамикроскоп при применении кардиодного конденсора. Но как только, в результате тех или других причин, начинается отмирание протоплазмы, эти мицеллы сейчас же приобретают гидрофобный характер, характер денатурированных белков. В результате этого под ультрамикроскопом мы сперва наблюдаем диффузное просветление протоплазмы, а затем и выпадение белкового осадка.

Из сказанного ясно, что белковые частицы, составляющие мицеллярную фазу протоплазмы, находятся здесь не в том спокойном состоянии, в каком они присутствуют просто в водном растворе, а в состоянии определенного напряжения, которое может поддерживаться только при постоянном притоке энергии.

Это «напряженное» состояние протоплазменных белков под-

тверждается целым рядом фактов и наблюдений. В частности, большой интерес представляет в этом отношении исследование Ф. Вле и Н. Жекса [40]. Эти авторы на яйцах морского ежа исследовали абсорбцию различных спектральных областей ультрафиолетового света. Полученная при этом кривая абсорбции совершенно не соответствует той кривой, которую дают растворы белков, хотя эти последние и составляют большую часть вещества протоплазмы. После разрушения яйца и отмирания протоплазмы спектр резко меняется, и кривая абсорбции для полученного таким образом материала почти полностью совпадала с кривой раствора альбумина. Эти опыты весьма отчетливо указывают на существование в живой протоплазме какого-то особого физико-химического состояния белков.

В. Лепешкин объясняет это состояние тем предположением, что в протоплазме белки находятся не в свободном виде, а в соединении с липоидами в виде упоминавшихся нами выше витаидов, которые могут существовать только при постоянном притоке энергии. Следовательно, белки в протоплазме, так сказать, «наильно» поддерживаются растворенными посредством их связи с липоидами.

Доказательство этого Лепешкин [41] видит в частности в том, что наркотики вызывают коагуляцию протоплазмы при значительно меньших концентрациях, чем это требуется для коагуляции обычных белковых растворов. При этом чем больше растворим наркотик в липоидах, тем скорее он вызывает коагуляцию протоплазменных белков, так как скорее отнимает от них липоиды.

Конечно, можно предполагать и целый ряд иных причин, в силу которых белки мицеллярной фазы протоплазмы находятся в раскрученном нитевидном состоянии. Но несомненно, что это «напряженное» состояние создает широкие предпосылки для большой подвижности всей организационной системы в целом, для той исключительной лабильности живого вещества, которое всем хорошо известно и которое так затрудняет исследование этой формы организации материи.

Как мы отмечали выше, основная интермицеллярная субстанция протоплазмы с точки зрения коллоидо-химической представляет собой комплексный коацерват. Но даже в сравнительно простых искусственно получаемых нами коацерватах при известных условиях возникают направляющие силы, благодаря действию которых частицы коацервата приобретают некоторую взаимную ориентацию. Эта ориентация, эта структура является довольно эфемерной, подвижной. Она существует только до тех пор, пока действуют определенные направляющие силы.

По аналогии с этими искусственными системами мы можем предполагать, что и в основной интрамицеллярной массе протоплазмы мы имеем подобного же рода структуры. Только здесь источником энергии, необходимой для поддержания этих структур, являются те экзотермические реакции, которые непрерыв-

ной чередой совершаются в самой протоплазме. За такого рода предположение говорит ряд фактов, полученных в последнее время. В частности, эту точку зрения поддерживают своими данными Тамия [42], Пэх [43] и другие исследователи, указывающие, что необходимая для сохранения структуры энергия получается в результате окислительных процессов. Э. Бюнинг [44] в своем обширном обзоре также подчеркивает необходимость непрерывного выхода энергии для поддержания определенной структуры живого вещества. Смерть прекращает образование энергии, и вместе с тем утрачивается и свойственная протоплазме подвижная структура.

Таким образом, на ряду с непосредственно видимой нами структурой, которую представляет в протоплазме грубодисперсная фаза, мы можем предполагать в живом веществе наличие более тонких и более подвижных структур в виде развернутых нитевидных белковых мицелл, и некоторой подвижной ориентации частиц интермицеллярной субстанции. Эта структура должна обладать колоссальной суммарной поверхностью, и в этом, как нам кажется, кроется ее основное значение для обмена веществ, для организации протоплазмы. Конечно, при известных условиях в некоторых участках протоплазмы нитевидные мицеллы могут соединяться между собой в сетку или иным образом как-то закономерно ориентироваться по отношению друг к другу. Но возникновение таких образований имеют больше механическое, чем химическое значение. Это мы, действительно, и наблюдаем в мышечных волокнах, сократительных жгутиках и т. д. В деле регулирования биохимических процессов громадное значение могут иметь и свободно взвешенные в основной протоплазменной среде нитевидные мицеллы и другие подобные коллоидные образования, так как это создает условия для адсорбции ферментов и пространственной локализации прочих активно действующих веществ.

Подводя итоги всему сказанному, мы должны подчеркнуть большую сложность и разнообразие факторов, определяющих собой организацию живого вещества во времени, тех причин, в силу которых химические реакции совершаются не как-нибудь, не хаотически, а в строгой последовательности, в определенной характерной для данного живого объекта взаимосвязи. Конечно, в основе всего явления в целом лежат химические свойства тех соединений, которые входят в состав живого вещества, образуют его материальную базу. Большое разнообразие этих соединений и их исключительная реакционная способность таят в себе возможность бесчисленных химических превращений и изменений. Но если бы мы приготовили раствор или искусственную смесь указанных соединений, то они и в малейшей степени не воспроизвели бы нам те явления, которые мы наблюдаем в живом веществе, так как в них как раз отсутствовала бы та организация, которая нас интересует. Здесь мы имели бы только громадное

число довольно беспорядочно переплетающихся между собой отдельных реакций, не связанных в какие-либо стройные постоянные цепи.

В этом широчайшем поле химических возможностей в живой протоплазме уже проложены определенные пути биохимических процессов, целая сеть «рационально построенных дорог», по которым с колоссальной скоростью и по «строго соблюдаемому графику» непрерывно происходит химическое превращение вещества и связанное с ним преобразование энергии. Этот совершенный порядок, в основе которого лежит определенное соотношение скоростей отдельных реакций, регулируется в живом веществе целым рядом факторов: наличием известного набора ферментов, их количественными соотношениями, той физико-химической обстановкой, которая создается в протоплазме, ее коллоидными свойствами и, наконец, ее структурой, определяющей локализацию химически и биологически активных соединений и комплексов и направленность биохимических процессов. Все это в целом и составляет то, что мы называем организацией живого вещества.

Теперь перевернем нашу медаль и посмотрим на разбираемый нами вопрос с другой стороны. Мы видели, чем определяется известная постоянная последовательность, взаимосвязь биохимических реакций, известная организация живого вещества во времени, а теперь посмотрим в свою очередь, что из этой организации вытекает, причиной каких биологических феноменов она является.

Прежде всего, начнем с образования тех органических веществ, которые возникают в живой протоплазме вследствие происходящих здесь синтетических реакций. В пятой главе мы видели, что экзотермические синтезы могут успешно протекать и в простом растворе органических веществ и в отсутствии какой-либо строгой организации во времени. Но происходящие в живом веществе синтетические процессы отличаются от указанных неорганизованных синтезов, во-первых, весьма совершенным использованием энергии, высоким коэффициентом полезного действия и, во-вторых, тем, что в результате их возникают не случайные более или менее разнообразные вещества, а соединения; наделенные совершенно определенным, характерным для данной протоплазмы строением. Это строение очень точно воспроизводится при разрастании живого вещества. Оно передается от одной клетки к другой, от родителей потомству, оставаясь постоянным в длинном ряде поколений.

Связь между организованностью биохимических процессов и коэффициентом использования энергии представляется довольно ясной и констатируется всеми авторами, работающими по данному вопросу [45]. При плохо согласованных разрозненных реакциях значительное количество образующейся энергии успевает рассеяться в виде тепла и, таким образом, бесцельно теряется,

не может быть использовано для синтеза живого вещества. Напротив, при строгой координации скоростей отдельных реакций, когда они, так сказать, плотно пригнаны одна к другой, указанные утечки энергии существенно сокращаются. Если, например, в сопряженном окислительно-восстановительном процессе соотношение скоростей является таким, что оно приводит к восстановлению и синтезу определенных веществ (например, аминокислот), то создается довольно высокий коэффициент использования энергии. При относительно небольшом расходе органических веществ, служащих источником питания, здесь происходит значительное нарастание живого вещества. Напротив, в других случаях, как, например, при сравнительно плохо организованном маслянокислом брожении, реакции восстановления совершаются настолько медленно, что значительная часть водорода, освобождающегося при окислительно-восстановительном процессе, успевает превратиться в молекулярный газ и в таком виде выделиться в окружающую среду. При этом степень использования энергии исходных углеродистых соединений так мала, а потери так велики, что лишь очень небольшая часть сбраживаемого материала превращается в живое вещество бактерий. Таких примеров можно привести целый ряд. Сравнительное изучение обмена веществ у различных организмов убедительно показывает, что рациональное использование химической энергии тем или иным организмом в первую очередь определяется степенью организации протоплазмы во времени, определенной согласованностью и последовательностью биохимических реакций [46].

Несколько сложнее дело обстоит со способностью протоплазмы к точному воспроизведению определенных соединений, входящих в состав живого вещества. Очень часто это воспроизведение трактуется как результат исключительно только пространственных соотношений, как результат наложения новых ассимилирующихся атомных группировок на готовые уже молекулярные каркасы [47].

Особенно отчетливо эту мысль развивает Н. Кольцов [48], который считает, что возникновение определенных белковых веществ, хлорофилла и даже антоцианов и других подобных соединений в живой клетке совершенно подобно росту кристаллов при наличии готовых кристаллических решеток. Оно происходит благодаря тому, что в живой клетке уже присутствуют в готовом виде соответствующие молекулы, служащие, так сказать, шаблонами, на которые накладываются новые атомные группировки. В результате этого получаются вещества, по своей внутренней молекулярной структуре в точности воспроизводящие те соединения, которые послужили для них затравками.

Однако, если бы такого рода точное воспроизведение сложных органических веществ зависело бы только от пространственной конфигурации отдельных молекул, т. е. носило бы чисто химический характер и не было бы связано с организацией жи-

вого вещества, то мы встречались бы с ним на каждом шагу и вне живой клетки. Стоило бы только выделенный в чистом виде антоциан или другое подобное вещество внести в подходящую смесь органических веществ, как сейчас же молекула должна была бы начать размножаться путем наложения на готовую затравку соответствующих атомных группировок. Но, как мы знаем, этого фактически никогда не происходит.

Единственным случаем самовоспроизведения органического вещества является размножение нуклеопротеида вируса табачной мозаики. Но этот случай представляется настолько исключительным, настолько необычным для неживого вещества, что даже до настоящего времени, несмотря на многочисленные химические анализы и определения размера частиц, многие исследователи отказываются рассматривать вирус только как определенное химическое соединение и видят в нем живое существо. Можно очень сильно сомневаться в правильности этого последнего утверждения, но оно показывает, в какой мере описываемое нами воспроизведение является характерным для живого вещества, насколько оно связано с организацией протоплазмы.

Вместе с тем, здесь нужно напомнить, что размножение вируса табачной мозаики никогда не наблюдалось в искусственной смеси, в растворах каких-либо органических веществ. Даже свежеприготовленная каша из растертых листьев табака оказалась непригодной для этой цели. Размножение вируса может идти лишь в живой клетке на основании того обмена веществ, который здесь совершается. Стоит только нарушить этот обмен, и образование вируса сейчас же прекращается. Таким образом, и здесь мы не имеем простого наложения атомных группировок на готовые молекулярные шаблоны. И здесь явление воспроизведения теснейшим образом связано с биохимическими процессами.

Те довольно многочисленные факты из области биологических синтезов, которыми мы в настоящее время располагаем, отнюдь не подтверждают вышеизложенных, установленных чисто умозрительно представлений об образовании определенных, характерных для данного организма соединений путем наложения новых атомных группировок на предсуществующие уже в протоплазме молекулы. Напротив, все указывает на то, что эти соединения возникают как результат известной последовательности биохимических реакций. Так, например, масляная кислота образуется в определенных видах бактерий не потому, что она здесь предсуществовала, а потому, что вслед за образованием ацетальдегида здесь идет реакция альдольной конденсации и затем реакция «внутреннего каннибализма». Если бы вместо конденсации происходило восстановление ацетальдегида, мы получили бы этиловый спирт, как это имеет место при спиртовом брожении. Изменяя последовательность реакции в спиртовом брожении, мы можем получить уксусную кислоту или даже глицерин. На принципе определенной последовательности реакций основываются и

синтезы высоко молекулярных жирных кислот, аминокислот и целого ряда других известных нам соединений.

Как показали химические исследования Р. Робинсона [49] и биологические работы Р. Скотт-Монкриф [50], упоминавшиеся выше антоцианы, т. е. довольно сложные органические вещества, которые обуславливают окраску цветов, возникают здесь тоже в результате определенной последовательности биохимических реакций. В синтезе этих соединений принимают участие и альдольная конденсация, и ряд восстановительных и окислительных реакций, метилирование и ацитилирование и, наконец, разнообразные глюкозидные изменения. В зависимости от той или иной последовательности этих реакций, в зависимости от того, какая из названных реакций опережает другую, в лепестках цветов получают различные производные флавона и аноциана. Определенная комбинация этих веществ и придает лепесткам известную окраску.

Точно так же, согласно данным В. Нилова [51], образование разнообразных терпенов в эфиромасличных растениях происходит в результате последовательно сменяющих друг друга реакций полимеризации, гидратации, окисления и циклизации. Синтез того или иного терпена в определенном растении Нилов объясняет тем, что здесь в этом синтезе принимают участие только вполне определенные превращения. Так, например, в базилике № 49 образуется алифатический терпент линалоол, потому, что здесь вслед за реакцией полимеризации идет гидратация. Напротив, в камфарном базилике возникает камфара, так как здесь, кроме реакции полимеризации, происходит и циклизация терпеновой молекулы. В эфирном масле первого же поколения, полученного от скрещивания этих двух видов базилика, можно обнаружить новое вещество борнеол, которое отсутствовало как в том, так и в другом родителе. Нилов это объясняет тем, что здесь уже скомбинировались между собой реакции полимеризации, гидратации и циклизации.

Целый ряд других работ как химического, так и биологического характера показывают, что и синтез дубильных веществ, алкалоидов и прочих подобных соединений основывается на определенной последовательности, определенной согласованности биохимических реакций внутри того или иного живого объекта. Но особый интерес для нас представляет, конечно, синтез белков.

При различном числе, соотношении и последовательности аминокислотных остатков в полипептидной цепи теоретически можно себе представить совершенно безграничное количество белковых вариаций. Нередко даже высказывалось мнение, что каждой животной или растительной особи свойственен особый характерный для нее белок. Однако в действительности найдено, что в природе существует лишь ограниченное число указанных вариаций. Те конкретные белки, которые мы можем выделить из современных нам организмов, не представляют собой

случайного сочетания аминокислотных остатков, они, так сказать, построены по определенному плану.

Этот план сводится, прежде всего, к тому, что аминокислотные остатки размещены в полипептидной цепи так, что каждый остаток повторяется через определенный интервал, т. е. обладает определенной частотой. «Таким образом,— пишет М. Бергман [52], — живой организм не нуждается в синтезе безграничного числа белков, существование которых предсказывается пептидной теорией в ее первоначальном виде, а, повидимому, синтезирует только такие белки, которые соответствуют описанным выше числовым закономерностям и структуре, основанной на перемежающихся частотах аминокислотных остатков».

В качестве примера, иллюстрирующего это положение, можно привести уже упоминавшийся нами в главе пятой глобин бычьей крови. По Бергману, молекула этого белка состоит из 576 остатков различных аминокислот (в частности лизина, аргенина, аспарагиновой и глютаминовой кислоты, тирозина, пролина, гистидина и цистеина). Эти остатки повторяются в полипептидной цепи глобина с определенной частотой и в определенной последовательности. Глобины, добытые из крови других млекопитающих, по своему аминокислотному составу и строению, в той или иной мере отличаются от глобина бычьей крови. Но в крови быка, как и в крови всякого другого животного, мы постоянно находим один и тот же характерный для данного вида белок, специфический по своему составу и свойствам. Таким образом, из поколения в поколение все время воспроизводится синтез одного и того же очень сложно построенного высокомолекулярного соединения.

Что лежит в основе этого явления? — Бергман подверг этот вопрос детальной экспериментальной разработке. На основании своих опытов с протеолитическими ферментами он приходит к убеждению, что синтез белковой молекулы представляет собой длинную цепь последовательных реакций, процесс, состоящий, по крайней мере, из сотен более простых этапов, определенным образом сменяющих друг друга. Благодаря строгой специфичности протеолитических ферментов создается такое соотношение скоростей отдельных синтетических реакций, такой ритм процесса, что на одной стадии синтеза присоединяется, например, глицин, на следующей — аланин, затем — глицин, тирозин, аланин и т. д. Каждый этап синтеза изменяет размеры и структуру образовавшегося уже зачатка белковой молекулы, и одновременно с этим от стадии к стадии изменяется природа присоединяемых аминокислот.

«Согласно указанному представлению,— пишет Бергман,— высокоорганизованная структура белковой молекулы является результатом целой цепи реакций, каждая из которых сравнительно проста, но является самостоятельным этапом. Благодаря способности протеиназ осуществлять всю последовательность

реакций в совершенно определенном порядке образуется определенная структура данного белка».

Конечно, как это правильно указывает А. Шмук [53], известная ориентированность молекул может влиять на ход синтеза белков. Но и в этом случае вопрос отнюдь нельзя сводить к простому «штампованию» молекул. Здесь дело заключается в том, что молекулы даже в том случае, когда они обладают достаточной энергией активации, не при каждом столкновении подвергаются реакции. Это объясняется тем, что из всех столкновений, даже обеспеченных энергетически, заканчивается реакцией только та часть, при которой столкнувшиеся молекулы были надлежащим образом ориентированы. Поэтому при определенной ориентации молекул суммарная скорость реакций может значительно повыситься. В особенности это имеет большое значение для высокомолекулярных соединений. Но и в этом случае, как мы видим, дело, в конечном итоге, сводится к изменению соотношения скоростей отдельных реакций. Можно предполагать, что нечто аналогичное лежит, в частности, и в основе размножения табачного вируса в живой клетке растения, где вирус лишь изменяет соотношение скоростей тех биохимических реакций, которые здесь совершаются и без него.

К тем же примерно выводам, к которым пришел на основании своих химических исследований Бергман, приходит и Р. Гольдшмидт [54], использовавший для этого собранный им громадный биологический материал. По Гольдшмидту, передаваемая по наследству способность организмов синтезировать определенные вещества, осуществляется благодаря тому, что химические реакции всегда протекают здесь с определенной скоростью и интенсивностью. В частности, говоря о доминантности и рецессивности того или иного признака, он указывает, что эти явления зависят от соотношения скоростей процессов или реакций в данном организме. «Бег выигрывает наиболее быстрая реакция», — говорит он. Следовательно, если, например, в первом поколении, происшедшем от скрещивания двух различных родителей, создалось такое соотношение факторов, что известная реакция опережает все остальные, то она и определяет собою доминирование того или иного признака. Поэтому Гольдшмидт придает очень большое значение количественному соотношению ферментов в данном живом объекте и считает, что при мутациях происходит решительный сдвиг именно этих соотношений. Конечно (как это совершенно отчетливо отмечает и сам Гольдшмидт), здесь понятие о количестве ферментов нужно рассматривать не в узком смысле, а принимать во внимание и все остальные многочисленные факторы, которые влияют на скорость и направленность биохимических реакций и которые отмечались нами выше.

Таким образом, все факты, как химического, так и биологического характера, которыми мы в настоящее время распола-

гаем, согласно приводят нас к заключению, что в основе способности протоплазмы к точному воспроизведению определенных химических соединений, входящих в состав живого вещества, лежит характерная для нее организация во времени. Именно благодаря тому, что в живом веществе химические реакции протекают не беспорядочно, не «как-нибудь», а в строгой последовательности, здесь и происходит возникновение соединений, наделенных совершенно определенным строением, которое все время повторяется при разрастании живого вещества. Появление в разрастающейся протоплазме того или иного вещества, — антоциана, хлорофилла или наделенного вполне определенным строением белка, — не есть результат того, что где-то, в каком-то участке протоплазмы (будь то хромосома, митохондрия или что-либо в этом роде) находились уже ранее готовые образчики именно таких молекул. Нет, появление указанных веществ отображает собой строго определенную последовательность реакций, последовательность, свойственную только данной протоплазме. Поэтому здесь нет «самовоспроизведения» молекул в тесном смысле этого слова, их «размножения», здесь имеет место только их строго постоянное новообразование. Лежащая в основе этого новообразования последовательность реакций зависит не от одного какого-либо единичного фактора, а и от наличия в данной протоплазме определенного набора ферментов, и от их количества, и от физико-химической обстановки, и от структуры и т. д., — она отражает собой всю организацию данной протоплазмы во всей ее совокупности. Возникновение строго определенных, свойственных только данной протоплазме, соединений является выводом из всей ее организации в целом, итогом взаимно перекрещивающихся влияний всех указанных выше разнообразных факторов.

Но образование определенных химических соединений сейчас же создает предпосылки для возникновения известной физико-химической обстановки внутри протоплазмы. Вряд ли можно сейчас сомневаться в том, что протоплазма представляет собой чрезвычайно сложную систему разнообразных веществ. Д. Рубинштейн [55] на разборе ряда примеров убедительно показывает, что целый ряд физико-химических свойств протоплазмы, как, например, тепловая коагуляция, поверхностная преципитация, проницаемость, электрические свойства и т. д., не может быть объяснен с точки зрения свойств какого-либо одного входящего в состав протоплазмы вещества. Они являются результатом сочетания и взаимодействия различных веществ, из которых построена протоплазма. Каждое из этих веществ, взятое в отдельности, может быть совершенно безжизненным. Но каждое из них оказывает то или иное влияние на физико-химическое состояние всего комплекса в целом.

Так, например, возникновение органических кислот может изменять концентрацию водородных ионов. Образование глюта-

тиона, аскорбиновой кислоты смещает окислительно-восстановительный потенциал и т. д. Но особенно большое значение имеет образование высокомолекулярных соединений, в первую очередь белков и липоидов, так как эти вещества обуславливают собой коллоидальное состояние протоплазмы.

Прямым последствием образования этих соединений является, как мы видели в предыдущей главе, возникновение более или менее значительных ассоциаций, целых молекулярных роев, а затем и комплексных коацерватов с их определенной, хотя и очень подвижной структурой.

Следующим этапом на пути постепенного развертывания указанных явлений служит возникновение уже видимых морфологических образований, происходящее в результате отслаивания сильно агрегированных веществ из общей массы протоплазмы. Это явление прекрасно разобрано А. Кизелем [19] на примере постепенного усложнения и агрегирования ядерного материала. Первоначально имеет место образование и накопление сравнительно мало агрегированной цитоплазменной (или так называемой дрожжевой) нуклеиновой кислоты. Затем происходит перестроение этой кислоты в тимонуклеиновую, причем возникают все более и более высоко молекулярные модификации. Это, в конечном итоге, приводит к нарушению растворимости и отслаиванию ядерного материала. А. Кизель пишет по этому поводу:

«Химическое явление новообразования нуклеиновых кислот, — последовательно цитоплазменной, а потом ядерной, — приводит к нарушению существующего физико-химического равновесия в протоплазме, за которым следует уже некоторый механический процесс, приводящий к сложному морфологическому явлению деления».

И в другом месте он указывает, что: «в первую очередь направляющим фактором являются химические процессы, за которыми выступают процессы физико-химического порядка и которые в итоге завершаются морфологическими явлениями».

Итак, мы видим, как определенная последовательность биохимических реакций, определенная организация данной протоплазмы во времени вызывает возникновение характерных соединений, известных физико-химических отношений и морфологической структуры. Но все эти явления — определенный состав протоплазмы, строение входящих в нее веществ и коллоидные свойства и структура, — в свою очередь раз возникнув, начинают выступать в качестве факторов, определяющих скорость, направленность и взаимосвязь происходящих в протоплазме биохимических реакций. Таким образом, мы получаем чрезвычайно совершенный, согласованный, взаимопроникающий комплекс всей

организации живого вещества. Вопрос о том, что в этом комплексе возникло раньше — определенная последовательность реакции во времени или определенное расположение частей в пространстве — носит такой же схоластический характер, как вопрос о том, что раньше появилось — курица или яйцо. Возникновение и развитие как той, так и другой стороны организации живого вещества совершалось совместно в общей эволюции материи. Наша задача состоит в том, чтобы отдать себе ясный отчет, на основании каких закономерностей осуществлялась эта эволюция, приведшая в конце концов к возникновению сначала простейших, а затем и более высоко организованных живых существ.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Brücke. Die Elementarorganismen, Sitzungsber. d. Akad. d. Wissenschaft. Wien, 44, II, 381. 1861.
2. Л. Иост. Лекции по физиологии растений, 2-е изд. 1907. Русс. пер. изд. Саблина, Москва. 1912.
3. J. Reinke u. Rodewald. Unters. aus d. botan. Laborat. Göttingen, 2, 1, 1881; J. Reinke. Studien über d. Protoplasma. 1881.
4. A. Kiesel. Zeitsch. f. physiol. Chemte, 150, 102, 1925; 173, 169. 1928. Planta, 2, 44. 1926; Protoplasma, 6, 332. 1929; Chemie des Protoplasmas. 1930.
5. A. Fischer. Fixierung, Färbung u. Bau des Protoplasmas. Jena. 1899.
6. O. Bütschli. Untersuchungen über mikroskopische Schäume und Protoplasma. Leipzig. 1892.
7. F. Hofmeister. Die chemische Organisation der Zelle. Braunschweig. 1901.
8. E. Wilson. Amer. Naturalist, 60. 1926.
9. J. Spek. Kolloid-Z, 46, 314. 1928.
10. L. Heilbrunn. Amer. Naturalist, 60, 143. 1926.
11. W. Lepeschkin. Kolloidchemie des Protoplasmas, 2. Auflage. Leipzig, 1938.
12. A. Guilliermond. Protoplasma, 16, 454. 1932.
13. J. Langmuir a. V. Schaefer. Chem. Rev 24, 207. 1939.
14. A. Frey-Wyssling. Ber. d. d. bot. Ges. 55, 119. 1937; Chron. Botan. 4, 27. 1938.
15. H. Bungenberg-de-Yong. Protoplasma, 15, 110. 1932.
16. Н. Кольцов. Организация клетки. Биомедгиз. 1936.
17. Н. Кольцов. Биологический журнал, 7, 3. 1938.
18. А. Кизель. Химия протоплазмы. Изд. Акад. Наук. 1940.
19. А. Кизель. Успехи современной биологии, II, I. 1939.
20. P. Levene a. Tipson. J. Biol. Chem. 109, 1935.
21. J. Brachet. Bull. Soc. de Chimie Biol. 18. 1936; Mem. Hist. natur. Belg. 2. 1936.
22. А. Белозерский. Микробиология, 8, 504. 1939.
23. С. Oppenheimer. Die Fermente und ihre Wirkungen. Leipzig, 1925—1929.
Th. Bersin. Kurzes Lehrbuch der Enzymologie. Leipzig. 1938.
«Ферменты», сб. статей. Изд. Акад. Наук. 1940.
24. L. Pasteur. C. R. Ac. des sciences, 80, 452. 1867 (см. также Oeuvres de Pasteur réunies par Pasteur Vallery-Radot, 2, 430).

25. В. Энгельгардт. Микробиология, 8, 324. 1939.
26. A. Opárin. Biochem. Zeit. 182, 155. 1927.
27. А. Браунштейн. Механизм ферментативного катализа (статья в сб. «Ферменты», изд. Акад. Наук. 1940).
28. W. Grassman. Erg. d. Enzymforsch. 1, 129. 1932.
29. Kurt Stern. Annals of the New York Acad. of Sciences, 39, 147—186. 1939.
30. Haas. Naturwissen. 22, 207. 1934.
31. А. Опарин. Erg. d. Enzymforsch. 3, 57. 1934.
32. А. Опарин, ИАН СССР, сер. биол., № 6, 1733. 1937.
А. Курсанов. Обратимое действие ферментов в живой растительной клетке. Изд. Акад. Наук, 1940.
П. Сисакян. Биохимическая характеристика засухоустойчивости. Изд. Акад. Наук СССР, 1940.
Б. Рубин. Успехи биохимии. Изд. Акад. Наук СССР. 1940.
33. R. Altmann. Studien über die Zelle. 1886.
34. Г. Левитский. Ber. bot. Ges. 28. 1910.
35. A. Guillermond. C. R. Soc. Biol. 85, 466. 1921.
36. E. MacBridl. Recent Advances in Microscopy. Philadelphia. 1931.
37. E. Horning. Erg. d. Enzymforsch. 2, 336. 1933.
38. W. Astbury. Biochem. J., 29, 2351. 1935.
39. Д. Талмуд. ДАН СССР, 25, 484. 1939.
40. F. Vlès et M. Gex. Arch. phys. biol. 6, 255. 1928; 11, 1. 1934.
41. В. Лепешкин. Ber. d. d. bot. Ges. 29, 349, 1911; Protoplasma, 34, 161. 1940.
42. H. Tamija. Acta phytochim. (Tokio), 6, 285. 1932.
43. K. Paech. Planta, 24, 529. 1935.
44. E. Bünnig. Fortsch. d. Bot. 7, 159. 1938.
45. H. Euler. Erg. d. Enzymforsch. 3, 135. 1934.
Р. Вюрмзер. Биологическое окисление и восстановление. ОНТИ. 1935.
О. Meyerhof. Erg. d. Enzymforsch. 4, 208, 1935. Die chemischen Vorgänge im Muskel. Berlin. 1930.
A. Szent-Györgyi. Bullet. d. la Société de Chimie biolog. 20, 846, 1938.
46. В. Таусон. Микробиология, 8, 787, 1043. 1939.
47. D. Wrinch. «Nature», 22/XII, 1934; 10/X, 651. 1936.
48. Н. Кольцов. Организация клетки, ст. 634, 638. Биомедгиз. 1936.
49. R. Robinson. «Nature», 137, 172. 1936.
50. R. Scott-Moncrieff, Erg. d. Entzymforsch. 8, 277. 1939.
51. В. Нилов. ИАН СССР, сер. биол., № 6, 1709. 1937.
52. М. Бергман. Успехи химии, 8, 439. 1939.
53. А. Шмук. ДАН СССР, 22, 343. 1939.
54. R. Goldschmidt. Physiological Genetics. New York. 1938.
55. Д. Рубинштейн. Физико-химические основы биологии. Госмедиздат. 1932; Проблема белка. Биомедгиз. 1934.

ГЛАВА VIII

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ОРГАНИЗМОВ

До тех пор, пока органическое вещество было полностью слито с окружающей средой, пока оно было растворено в водах первичной земной гидросферы, мы могли рассматривать эволюцию этого вещества в целом, во всей его совокупности. Но как только органическое вещество сконцентрировалось в определенных пунктах пространства, в капельках коацервата, как только эти образования отделились от окружающей среды более или менее определенно выраженной границей, так сейчас же они до известной степени приобрели некоторую индивидуальность. Дальнейшая история одной какой-нибудь капельки коацервата могла существенно отличаться от истории другой такой же капельки. Ее судьба уже определялась не только условиями внешней среды, но и ее внутренним специфическим физико-химическим строением, которое в своих деталях было присуще только ей одной и у других капелек могло иметь несколько иное, опять-таки характерное для каждой индивидуальной капельки, выражение.

Какие условия определяли собой индивидуальное существование любой такой коацерватной капельки в земной гидросфере? Представим себе, что в каком-нибудь первичном водоеме нашей планеты в результате смешивания растворов высокомолекулярных органических веществ возникли капельки коацервата. Рассмотрим судьбу какой-нибудь одной капельки. Как мы уже говорили, это коллоидное образование являлось весьма неустойчивым. Его существование могло длиться только до тех пор, пока имело место известное соотношение между организацией капельки, ее составом и строением, с одной стороны, и условиями внешней среды — с другой. Достаточно было какого-нибудь существенного изменения температуры окружающей среды или приближения концентрации водородных ионов к изоэлектрической точке одного из составляющих коацерват компонентов или, наконец, возникновения неблагоприятных соотношений солевого раствора в данной точке водоема, чтобы наша капелька, просуществовав более или менее короткий промежуток времени, вновь распалась, растворилась, превратилась в первоначальный золь и чтобы

молекулы составляющих ее белков и других органических веществ вновь рассеялись в окружающей среде.

Однако вполне возможно допустить и более длительное существование возникших в первичной земной гидросфере коацерватных капель. Это тем более вероятно, что Земля к разбираемому нами времени уже прошла через стадию бурных сдвигов и катастроф, через свой юношеский «Sturm- und-Drangperiode». На земной поверхности уже наступила известная стабилизация отношений, и условия среды в первичном океане изменялись лишь постепенно, оставаясь более или менее постоянными в течение длительных промежутков времени.

Является вопрос, все ли капельки в условиях такой постоянной, благоприятной среды вели себя одинаково, все ли они, раз возникнув, оставались устойчивыми, или их судьба была различна в зависимости от индивидуальных особенностей каждой капельки. Для того чтобы понять характер устойчивости наших первичных коацерватных капелек, рассмотрим указанное явление по отношению к известным уже нам искусственным коацерватам. Как мы видели выше, обычно для получения таких коллоидных образований смешивают между собой растворы каких-либо искусственно очищенных, более или менее индивидуальных веществ — желатины, гумми-арабика, альбумина, нуклеиновой кислоты и т. д. Эти вещества не содержат в себе ферментов или других в достаточной степени активных катализаторов. Поэтому внутри таких искусственных коацерватов химические превращения протекают с очень малой скоростью. В пределах сравнительно короткого времени, в течение которого обычно длятся наблюдения за коацерватами, в них не успевают произойти какие-либо существенные химические изменения. В силу этого при постоянных внешних условиях такой искусственный коацерват имеет характер статической системы.

Но эта статичность является только кажущейся, относительной. Вещества, входящие в состав коацервата, хотя и очень медленно, все же реагируют между собой, и благодаря этому при длительном хранении такого коллоидного образования в нем можно подметить некоторые химические изменения. В особенности резко это сказывается тогда, когда коацерватная капелька погружена не просто в воду, а в раствор разнообразных веществ. В этом случае вследствие адсорбции она воспринимает эти вещества из окружающей среды, и в дальнейшем они с большей или меньшей скоростью реагируют с материалом, образующим коацерват, что приводит к некоторому химическому изменению его.

На ряду с этими, так сказать, ассимиляционными процессами, приводящими к увеличению массы коацерватной капли, в ней можно наблюдать и обратные процессы распада (гидролиза или окисления) тех веществ, которые входят в состав коацервата. Если эти процессы будут преобладать над ассимиляцией, то рано

или поздно коацерват разрушится, исчезнет. Напротив, при более интенсивно идущих синтетических превращениях он будет или сохранять свою первоначальную массу, или даже увеличиваться в объеме и весе — расти. В этом случае мы можем говорить об известной устойчивости данного коацервата, но уже об устойчивости динамического характера, обусловленной соотношением скоростей процесса ассимиляции и процесса распада.

Все это полностью применимо и к нашей первично возникшей коацерватной капельке, судьбу которой в земной гидросфере мы решили мысленно проследить. Ведь эта капелька плавала не просто в воде, а в растворе разнообразных органических и неорганических соединений. Она адсорбировала эти вещества из окружающей среды, и уже в силу этого ее состав постепенно изменялся. Поступающие в капельку из внешней среды вещества химически взаимодействовали с веществами самого коацервата, и внутри капельки постоянно осуществлялись многочисленные химические реакции. Пусть вначале эти реакции протекали еще очень медленно и носили почти такой же случайный, беспорядочный характер, как и превращения вещества во внешней среде, все же уже на самых первых стадиях существования наших коллоидных образований здесь должны были выявиться два существенных обстоятельства, сыгравших весьма важную роль в процессе дальнейшей эволюции материи.

Во-первых, нужно отметить, что индивидуальные особенности физико-химической организации каждой коацерватной капельки накладывали определенный отпечаток на те химические превращения, которые совершались в данной капельке. Наличие тех или иных веществ или радикалов, присутствие или отсутствие простейших неорганических катализаторов (типа железа, меди, кальция и т. д.), степень концентрации белковых и других коллоидных веществ, образующих коацерват, и, наконец, определенная, — пусть даже весьма нестойкая структура, возникающая в результате действия направляющих сил, — все это сказывалось на скорости и направлении отдельных химических реакций, протекавших в данной коацерватной капельке, все это придавало специфический характер химическим процессам, которые развертывались в коацерватах. Таким образом, выявлялась известная связь между индивидуальным строением, организацией капельки и теми химическими превращениями, которые в ней совершались.

Во-вторых, следует обратить внимание на то, что разнообразные, хаотически совершающиеся внутри коацерватной капельки химические реакции не были безразличны для ее дальнейшей судьбы. С этой точки зрения одни из них имели положительное значение, способствовали большей устойчивости, большей длительности существования данной системы. Другие, наоборот, носили отрицательный характер, приводили к разрушению, к исчезновению нашей индивидуальной капельки.

Эти два обстоятельства легли в основу своеобразного «естественного отбора» первичных коацерватов. Если внутренняя физико-химическая организация данной коацерватной капельки при ее образовании или в результате последующих изменений складывалась таким образом, что в ней преобладающее значение приобретали процессы разложения, например гидролиза, коллоидных частиц, или процессы, приводящие к усилению гидратации и к ослаблению электростатических сил, то такая капелька более или менее быстро исчезала, распадалась. Следовательно, все случайно возникавшие, «неудачные» с указанной точки зрения формы организации сами собой вычеркивались из дальнейшей эволюции материи. Индивидуальное существование капелек, наделенных такой организацией, быстро прекращалось, а заключенные в них органические вещества вновь рассеивались в растворе, поступали в тот общий котел, из которого черпалась материя для построения новых организационных форм.

Более или менее длительно могли существовать только те коацерватные капельки, которые в данной конкретной обстановке были динамически устойчивыми, т. е. обладали такой физико-химической организацией, которая обуславливала перевес процессов синтеза над процессами распада. Коацерваты, наделенные такой формой организации, должны были не только сохраняться, но и увеличиваться в объеме и весе — расти. В данном случае совершенно безразлично, шел ли этот рост сплошной массой или (вернее) разросшийся коацерват распадался на дочерние капельки — как бы то ни было, его масса в первичной земной гидросфере постепенно увеличивалась за счет органических веществ окружающего раствора.

Но это разрастание коацерватной массы все время шло под строжайшим «контролем» естественного отбора. Всякое изменение в организации, смещающее в сторону распада динамическое равновесие в какой-либо части коацервата или в какой-либо дочерней капельке приводило к быстрому уничтожению этих объектов, независимо от того, как долго они до этого момента существовали в гидросфере. В силу этого «естественный отбор» коацерватных капелек приобрел известную направленность на создание наиболее динамически устойчивых форм организации, форм, которые в наименьшей степени были бы подвергнуты риску исчезнуть с лица Земли, вследствие хаотически совершающихся химических процессов. Таким образом, создавались предпосылки для известного постоянства химических процессов, известной их повторяемости внутри коацервата, а следовательно, и известного воспроизведения определенных веществ и структур.

Но на ряду с увеличением этой динамической устойчивости наших коллоидных образований, их дальнейшая эволюция должна была идти и в направлении увеличения самой динамичности этих систем, увеличения скорости совершающихся в них реакций. Вполне понятно, что та динамически устойчивая коацерват-

ная капелька, которая приобрела способность к более быстрому превращению веществ, этим самым получила значительные преимущества перед другими капельками, плававшими в том же растворе органических соединений. Она стала гораздо скорее усваивать их, гораздо скорее расти, и поэтому в общей массе коацерватов ее удельный вес делался все более и более значительным.

Вместе с тем эта увеличивающаяся динамичность способствовала и большей гибкости всей организации, а следовательно, ее большей устойчивости в условиях постепенно изменяющейся внешней среды. В этих условиях действие «естественного отбора» сказывалось в особенности сильно. Оно приводило к неизбежной гибели всех малоподвижных, относительно статичных систем, которые не поспевали в своих изменениях за сдвигами, происходящими во внешней среде.

В результате изложенного процесса на земной поверхности должно было происходить не только постепенное увеличение количества организованного вещества, но — что особенно важно — и качество этой организации изменялось в совершенно определенном направлении. Простейшие органические коацерваты с их нестойкой элементарной структурой рано или поздно должны были исчезнуть с лица Земли, распасться, перейти в первоначальный раствор. Но и их ближайшие потомки, выработавшие в себе известную устойчивость, также вскоре должны были остаться в хвосте в том случае, если они не приобрели способности к быстрому осуществлению химических реакций. Расти и развиваться дальше могли только такие образования, в организации которых произошли существенные изменения, чрезвычайно увеличившие скорость химических реакций, и создавалась определенная координация, упорядоченность этих реакций.

Таким образом, мы видим, что в результате концентрирования органических веществ в определенных пунктах пространства, в результате появления индивидуальных коллоидных систем, коацерватных капелек, стали возникать новые закономерности, закономерности более высокого порядка, которые и определили собой дальнейшую эволюцию организованной материи. Именно благодаря действию этих закономерностей, и в первую очередь благодаря описанному нами выше «естественному отбору» коацерватов, из целого хаоса разнообразнейших превращений, на которые способно органическое вещество, выделялись определенные пути химического развития, слагались гармонически координированные между собой процессы и создавалась определенная организация живого вещества. Следовательно, возникновение этой организации не есть дело простого случая, как это пытались изобразить многие предшествующие авторы. Случайно могли возникать самые разнообразные формы организации, как «удачные», так и «неудачные», с точки зрения их динамической устойчивости и скорости дальнейшего разрастания, но только

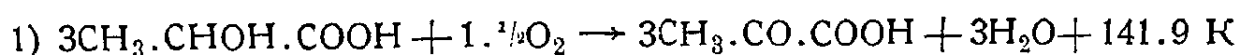
первые могли сохраняться и развиваться дальше в первичной земной гидросфере. Поэтому дальнейшая эволюция организованной материи все время протекала в направлении увеличения скорости химических реакций, увеличения динамической устойчивости коллоидных систем и, наконец, в направлении создания способности к самовоспроизведению, так как это понижало риск случайного нарушения динамической устойчивости.

В предыдущей главе мы подробно остановились на тех формах организации живого вещества, которые свойственны современным нам организмам. Детальное рассмотрение этих форм организации в ряде случаев позволяет нам понять, как они складывались в процессе эволюции, согласно изложенным нами выше закономерностям.

Синтез сложных органических веществ в первичной земной гидросфере протекал, как это мы уже отмечали в пятой главе, на основе экзотермических реакций. При этом часть первичных производных углеводородов подвергалась глубокому окислению и распаду, обесценивалась энергетически и рассеивалась в земной атмосфере в виде углекислоты. Но сопряженно с этими процессами шли синтезы все более и более сложных соединений, обладающих значительными запасами потенциальной энергии и громадными химическими возможностями.

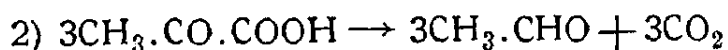
Таким образом, хотя общий запас энергии, приходящейся на долю всей совокупности первичных органических соединений, постепенно уменьшался и часть органического вещества минерализовалась, другая его часть эволюционировала в указанном нами выше направлении синтеза. Именно на этой стороне дела мы и сосредоточивали свое внимание, когда речь шла об эволюции органического вещества в целом. Но при переходе к индивидуальным системам приходится принимать во внимание не общий суммарный, купленный той или иной ценой, результат, а именно те соотношения между синтезом и распадом, которые возникали в каждой данной точке пространства и которые в разных системах могли быть глубоко различными.

Для пояснения этого вернемся к тому примеру синтеза глюкозы из молочной кислоты, который мы приводили на стр. 115.



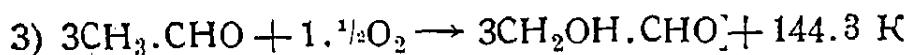
Молочная
кислота

Пировиноградная
кислота



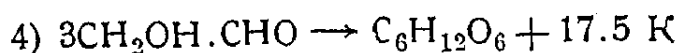
Пировиноградная
кислота

Ацетальдегид



Ацетальдегид

Гликолевый
альдегид



Гликолевый
альдегид

Глюкоза

Мы видим, что такого рода синтез не может быть осуществлен на основе какой-либо одной экзотермической реакции. Он представляет собой цепь, в которой отдельные звенья, отдельные реакции вполне определенным образом следуют одна за другой. Именно от этой последовательности зависит весь эффект синтеза. И если бы, например, образующийся в качестве промежуточного продукта гликолевый альдегид не подвергался конденсации, а претерпевал бы только дальнейшее окисление и декарбоксилирование, — никакого синтеза глюкозы не происходило бы. Такого рода последовательность экзотермических реакций приводила бы только к постепенной трате энергии, к постепенному «сгоранию» исходного продукта, не сопровождающемуся образованием более сложных соединений.

В однородном растворе органических веществ перед каждым вновь возникающим промежуточным продуктом открывается ряд химических возможностей, ряд химических путей, и каждый из этих путей в той или иной степени используется названным соединением.

Так, например, ацетальдегид может окисляться в гликолевый альдегид, как это указано в приведенном нами выше уравнении. Но он может претерпевать и альдольное уплотнение, может восстанавливаться в спирт или окисляться в уксусную кислоту и т. д. Точно так же и гликолевый альдегид может в известном проценте конденсироваться в глюкозу, но в то же время большее или меньшее число молекул этого альдегида будет окисляться дальше и превращаться в конечном итоге в CO_2 . Чем больше таких боковых ответвлений, чем большее количество промежуточных продуктов уйдет в сторону от основного процесса, тем менее эффективным будет синтез. Наоборот, чем более точно будут согласованы между собой скорости реакций, чем ближе суммарный процесс будет подходить к написанному нами выше идеальному уравнению, тем будет возникать относительно большее количество конечного продукта синтеза.

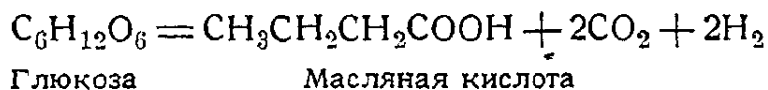
В простом однородном растворе, в отсутствии каких-либо специфических катализаторов, те многочисленные реакции, на которые способны промежуточные продукты, в большинстве случаев протекают со скоростями одного порядка, и поэтому весь суммарный процесс имеет весьма разветвленный, путанный характер. Следовательно, и эффективность синтеза того или иного определенного соединения здесь будет весьма низкой.

В обособленных от окружающего раствора коацерватных каплях вследствие индивидуальных особенностей их физико-химического строения скорости отдельных реакций могут варьировать в очень широких пределах. Благодаря этому в разных каплях характер и последовательность вышеописанных процессов должны были существенно различаться. В одних каплях эти процессы носили такой же разветвленный и путанный характер, как и в простом растворе, в других определенное

соотношение скоростей создавало известную последовательность реакций, известную прямолинейность всего процесса в целом. Но и в этом последнем случае суммарное направление этого процесса могло быть глубоко различным. В отдельных коацерватных капельках оно могло приводить поступающие в данный коацерват органические вещества только к распаду, к «бесцельному», не сопровождаемому какими-нибудь синтезами разложению. Но вследствие действия «естественного отбора» такие коацерватные системы должны были очень быстро исчезать с лица Земли. Существовать и развиваться дальше могли только те коацерватные капельки, в которых установившаяся известная последовательность химических реакций приводила к синтезу веществ, образующих коацерват. При этом, чем упорядоченнее был весь процесс в целом, чем менее был он разветвлен, тем выше был коэффициент использования поступающих в коацерват веществ и связанной с ними энергии, тем скорее росла данная коацерватная система, тем больше она имела преимуществ в отношении других таких же систем.

Таким образом, с первых же моментов существования наших коллоидных систем действие «естественного отбора» было направлено на некоторое сокращение тех химических возможностей, которыми ранее обладали промежуточные продукты. Вследствие этого выделялись и закреплялись определенные пути химических реакций, определенная их последовательность, которая давала наибольший эффект с точки зрения синтеза и использования химической энергии.

Этот процесс упорядочения химических реакций, который имел место уже у самых истоков жизни, при самом ее становлении, продолжается и сейчас. Даже у современных нам живых существ, стоящих на нижних ступенях эволюционной лестницы, мы находим его далеко еще не завершенным. Примером этого могут служить бактерии маслянокислого брожения. Идеальным уравнением этого брожения является:



Глюкоза

Масляная кислота

Но в действительности мы никогда не имеем точного соблюдения этого уравнения [1]. Всегда на ряду с масляной кислотой, углекислотой и водородом образуется и целый ряд других промежуточных продуктов: этиловый спирт, молочная и уксусная кислоты, а иногда ацетон, бутиловый спирт и т. д. Количественные соотношения между отдельными продуктами реакции тоже не являются постоянными, они сильно варьируют в зависимости как от природы микроорганизмов, так и от внешних условий, в которых протекает брожение. Очень часто количество побочных продуктов так велико, что даже превышает количество образующейся масляной кислоты, таким образом, в некоторых случаях трудно определить, что мы имеем — масля-

нокислосое брожение с побочным образованием молочной кислоты или, наоборот, молочнокислосое брожение, усложненное маслянокислым.

Уже это одно качественное и количественное непостоянство возникающих при маслянокислом брожении продуктов показывает, что внутри осуществляющих его микроорганизмов не сложилось еще такой совершенной физико-химической организации, которая путем строгого урегулирования скоростей отдельных химических реакций направляет общее течение процесса в совершенно определенную сторону. Возникающие здесь промежуточные продукты подвергаются изменениям не в каком-либо определенном направлении; они могут вступать в различные химические взаимодействия и этим обуславливать возникновение различных конечных продуктов.

Так, например, возникающая в начале маслянокислого брожения триоза обычно распадается дальше на ацетальдегид, углекислоту и водород. Но одновременно с этим известная часть триозы может подвергнуться непосредственному окислительно-восстановительному изменению и превратиться в молочную кислоту.

Возникающий при распаде триозы ацетальдегид обладает очень большими химическими возможностями. Но, в условиях, например, хорошо организованного спиртового брожения он, как это было указано выше, может закономерно изменяться только в одном определенном направлении, — идти по пути определенного химического изменения. Здесь он настолько быстро подвергается восстановлению в спирт, что никаких других химических изменений попросту не успевает произойти. Напротив, при маслянокислом брожении часть образовавшегося альдегида может конденсироваться в ацетальдол и превращаться далее в масляную кислоту, другая часть может восстанавливаться в этиловый спирт, третья окисляться в уксусную кислоту и т. д. Здесь скорости отдельных реакций еще не координированы в достаточной степени четко между собой, и весь процесс в целом носит еще довольно беспорядочный характер.

В прежнее время очень любили сравнивать протоплазму живой клетки с химическим заводом. Если продолжить это сравнение, то дрожжевую клетку следовало бы уподобить хорошо организованной фабрике с строго специализированной аппаратурой и с точным графиком производства. Бактерию же маслянокислого брожения можно было бы тогда сравнить лишь с кустарным предприятием, где без всякого плана на неспециализированной аппаратуре производятся по мере надобности разнообразные фабрикаты.

Вследствие плохой согласованности скоростей отдельных химических реакций, вследствие хаотичности идущих здесь превращений вещества, коэффициент полезного действия маслянокислого брожения чрезвычайно низок. Бактерии используют для своих синтезов лишь очень небольшую часть той энергии,

которая получается в результате брожения. Остальная же энергия теряется ими совершенно непроизводительно.

Приведенное сравнение организации, лежащей в основе спиртового и маслянокислого брожения, помогает нам понять, как шла последовательная координация отдельных реакций, как из хаоса этих реакций постепенно возникал определенный порядок, создавались все более и более совершенные внутренние химические механизмы, позволяющие наделенным ими индивидуумам осуществлять такие превращения материи и энергии, на которые предшественники этих индивидуумов не были способны.

В описанных нами выше первичных коллоидных образованиях координация между отдельными химическими реакциями была представлена в еще сравнительно слабой степени. Притекающие извне органические вещества и промежуточные продукты распада еще могли претерпевать здесь химические изменения в весьма разнообразных направлениях. Но вследствие плохой координации процессов коэффициент использования химической энергии этих реакций для сопряженных синтезов, а следовательно, и для дальнейшего роста, находился на очень низком уровне. Действие естественного отбора было направлено на то, чтобы из целого хаоса разнообразных химических возможностей выделить и закрепить определенные наиболее эффективные пути энергетических процессов. Это достигалось постепенным возникновением механизмов регулирования, при помощи которых скорости отдельных реакций все более и более строго координировались между собой. Благодаря этому уменьшалось разнообразие химических возможностей, открывавшихся ранее для различных промежуточных продуктов обмена, но зато повышалась общая слаженность всего процесса в целом. Происходило постепенное уменьшение боковых ответвлений, и все явление приобретало более стройный и прямолинейный характер. Но тем самым создавались предпосылки для все большего и большего увеличения числа звеньев указанных прямолинейных цепей синтетических реакций. Исходное вещество в уже гораздо меньшей степени рассеивалось на побочные химические изменения, и это в ряде случаев приводило к синтезу все более сложных и высокомолекулярных соединений.

Но такого рода синтез, основанный на постоянно повторяющихся взаимно координированных реакциях, уже не носил случайного характера. Это было не единичное образование того или иного органического соединения, явление, которое, может быть, в дальнейшем никогда не повторится. Напротив, всякая данная постоянная цепь согласованных между собой реакций все время приводила к синтезу одного и того же определенного вещества. Таким путем создавалось известное (конечно, весьма относительное) постоянство состава отдельных частей разрастающегося коацервата или тех дочерних капелек, которые из него образовались, — возникало то явление, которое мы сейчас обозначаем как способность к самовоспроизведению.

В предыдущей главе мы указывали, что за последнее время ряд авторов стремился объяснить способность живого вещества к самовоспроизведению, исходя из чисто пространственных соображений. Согласно этому мнению, вещества с определенным строением, определенной конфигурацией молекул возникают в живой протоплазме потому, что здесь уже предсуществуют такие же конфигурации, играющие как бы роль шаблонов для построения новых молекул.

С первого взгляда это мнение представляется очень заманчивым по своей простоте и наглядности. Если встать на указанную точку зрения, то вопрос о возникновении у первичных коллоидных образований способности к точному самовоспроизведению синтезирующихся веществ решается чрезвычайно просто. Стоит только в результате тех или иных, пусть даже случайных, причин в коацерватной капельке возникнуть какой-либо конфигурации белковой молекулы или другого вещества, как эта конфигурация станет повторяться при дальнейшем разрастании коацервата и во всех его последующих поколениях.

Однако, как мы отмечали выше, вне живых организмов мы никогда не наблюдаем такого «размножения» отдельных молекул. Поэтому мы не можем допустить это явление и в наших первичных коацерватах. Здесь не могло быть «самовоспроизведения» молекул в тесном смысле этого слова, а происходило лишь более или менее постоянно повторяющееся новообразование веществ, основанное на известной упорядоченности химических реакций. Поэтому в ходе эволюции организованного вещества основной интерес представляет не случайное возникновение какого-либо отдельного соединения, а появление определенной согласованности реакций, обуславливающей постоянный синтез этого соединения в разрастающемся коацервате.

Конечно, и беспорядочно идущие синтезы могли на первых стадиях развития коацерватов способствовать разрастанию организованного вещества. Но при этом характер организации вновь возникающих коллоидных участков все время менялся и был чрезвычайно подвержен риску распада, самоуничтожения. Наши коллоидные системы лишь тогда в результате «отбора» приобрели более или менее гарантированную динамическую устойчивость, когда идущие в них синтезы координировались между собой, когда создалась известная закономерная повторяемость этих синтезов, некоторый их ритм.

Таким образом, то явление, которое лежит в основе «самовоспроизведения» живого вещества, возникло в результате упорядочивания химических процессов «естественным отбором», направленным на создание более динамически устойчивых коллоидных образований. В качестве примера, иллюстрирующего это положение, мы рассмотрим вопрос о происхождении асимметрии современной нам протоплазмы.

Как мы уже говорили выше, для протоплазмы современных

нам животных и растений чрезвычайно характерной является строгая асимметрия входящих в ее состав основных веществ. Так, например, образующие естественные белки аминокислоты всегда представлены здесь только левой формой. Правый антипод аминокислот, как правило, совершенно отсутствует в живой протоплазме. То же самое можно сказать и о липоидах, например о лецитине и других основных ингредиентах живого вещества. В силу каких причин в протоплазме возникла эта совершенная асимметрия? Почему при разрастании живого вещества все время образуется только одна определенная оптическая конфигурация аминокислот и других подобных соединений?

В главе пятой мы указывали, что и в первичном растворе органических веществ, вследствие воздействия циркулярно поляризованного света, создавалась известная асимметрия, известное преобладание правого или левого антипода того или иного соединения. Эта первично возникшая асимметрия и послужила основанием для асимметрии всех последующих органических образований.

Но обычно представляют себе это так, что одна молекула, наделенная определенной оптической конфигурацией, порождает другую точно такую же молекулу, так сказать, «размножалась» все больше и больше, и таким образом на земной поверхности все время увеличивалось количество соединений, принадлежащих только данному ряду оптических изомеров. Однако детальное рассмотрение вопроса показывает, что фактически здесь дело обстоит значительно сложнее.

Недавно В. Кун [2] подверг детальному разбору все данные, которые имеются по вопросу об асимметрическом синтезе. Прежде всего он показал, что с термодинамической точки зрения рацемат является более устойчивым, чем его разделенные активные компоненты потому, что свободная энергия в этом первом состоянии оказывается наименьшей. Поэтому всякая смесь оптически активных веществ, предоставленная самой себе, будет стремиться рацемизироваться, потерять свою оптическую активность. При любом синтезе, в котором участвует асимметрический катализатор (например, фермент), вначале идет быстрое образование одного только оптического антипода. Другой антипод, хотя и возникает, но его количество будет во столько раз меньшим, во сколько скорость каталитической реакции будет превосходить скорость синтеза, идущего без катализатора. В силу этого будет возникать известная асимметрия, известное неравенство правого и левого антипода. Но так как истинный катализатор увеличивает скорость реакции не только в прямом, но и в обратном направлении, то после достижения равновесия часть продукта синтеза будет превращаться в исходное вещество, дающее, хотя и очень медленно, все новые количества синтезирующегося без катализатора антипода. Таким образом, вся система постепенно будет стремиться к рацемическому состоянию, и оптиче-

ская активность, возникшая в результате действия асимметрического катализатора, будет постепенно сглаживаться.

Следовательно, асимметрия, возникшая в результате действия идеального катализатора, в результате одной какой-либо изолированной реакции, есть явление временное. Поэтому весьма совершенная и постоянная, из поколения в поколение переходящая, асимметрия протоплазмы не может возникать и сохраняться таким путем. Постоянное возникновение одного только оптического антипода в живом веществе может происходить только в результате того, что здесь перекрещивается целый ряд реакций, скорости которых чрезвычайно точно согласованы между собой. Еще Р. Ритчи [3] писал по этому поводу: «в то время как один антипод успешно принимает участие в клеточном обмене, другой образуется одновременно с ним в несравнимо меньшем количестве — или, что то же самое, со значительно меньшей скоростью — и почти наверняка удаляется с той же скоростью, что и образуется, при помощи какой-либо добавочной реакции». Последующие экспериментальные работы Лангенбека [4], Кребса [5], Киша [6] и других вполне подтвердили это положение.

В своей интересной книге «Асимметрия протоплазмы» Г. Гаузе [7], подводя итоги указанным исследованиям, убедительно показывает, что асимметрия протоплазмы есть результат определенной ее организации во времени, определенной согласованности совершающихся здесь химических реакций. Такая согласованность могла сложиться только в процессе длительной эволюции, только как результат действия естественного отбора. В. Мильс [8] указывает, что при всех прочих равных условиях реакции в рацемате протекают со значительно меньшей скоростью сравнительно с реакциями в оптически активной смеси. Поэтому системы, построенные из асимметрического материала, должны быть более эффективными, чем их рацемические конкуренты. Таким образом, те коацерватные капельки, в которых определенная согласованность реакций приводила к образованию асимметрии, осуществляли свои синтезы много быстрее, чем идентичные с ними рацемические образования. Поэтому и рост первых должен был идти значительно скорее, и их динамическая устойчивость должна быть совершеннее. В результате всего этого, в силу указанного нами выше «естественного отбора», асимметрия веществ, входящих в состав наших первичных коллоидных систем, должна была все время возрастать с первых же шагов эволюции этих систем. В современной живой протоплазме эта асимметрия достигла уже большого совершенства, исключительно высокой оптической чистоты, которая может иметь место только при чрезвычайно точной согласованности скоростей реакций, участвующих в синтезе данного соединения.

В итоге всего сказанного мы приходим к выводу, что в процессе эволюции наших индивидуальных коллоидных образований, коацерватных капелек, все время должно было происходить по-

степенное согласование, упорядочивание совершающихся здесь реакций. Бесчисленные, перепутанные между собой боковые ответвления химических процессов постепенно отходили на задний план. Указанные процессы приобретали все более и более стройный прямолинейный характер неразветвляющихся цепей, где каждое звено, каждая отдельная реакция сменяет другую в строго определенной последовательности. В силу этого создавалась известная стандартизация состава разрастающихся коацерватов, известное постоянство пространственной и оптической конфигурации вновь синтезирующихся соединений, постоянство, которое, конечно, все время нарушалось как внешними воздействиями, так и внутренними причинами, но все же с каждым дальнейшим шагом эволюции обуславливало все большую и большую динамическую устойчивость разрастающихся на земной поверхности организованных веществ.

Вместе с тем мы должны себе ясно представить, что определенная организация во времени, определенная последовательность химических реакций есть результат соотношений скоростей этих реакций. Как легко понять из схемы, приведенной нами на стр. 174, для того чтобы отодвинуть все остальные, побочные реакции на задний план, для того чтобы заставить то или иное соединение идти по пути одной какой-либо вполне определенной реакции, нужно радикальным образом, специфически увеличить скорость этой реакции так, чтобы она во много раз превышала скорости всех остальных возможных для данного соединения превращений.

Конечно, та или иная скорость отдельной реакции определяется всей совокупностью физико-химических условий, создавшихся в том образовании, где эта реакция протекает. Но основным фактором, влияющим на скорости биохимических реакций в живом веществе, является наличие в нем определенных специфических катализаторов — ферментов. Поэтому, говоря о возникновении в наших коллоидных образованиях известной организованности во времени, мы должны рассмотреть и вопрос о том, как в процессе эволюции сложились те внутренние химические механизмы, которые обуславливали эту организованность, в первую очередь, как возникли те специфические катализаторы, которые определили собой известное соотношение скоростей и известную последовательность реакций.

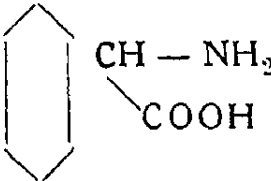
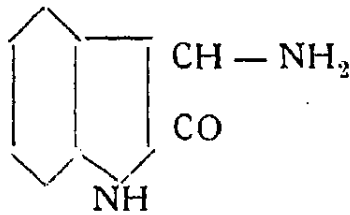
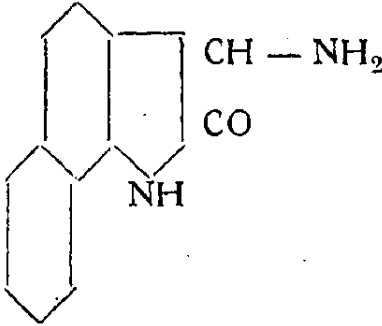
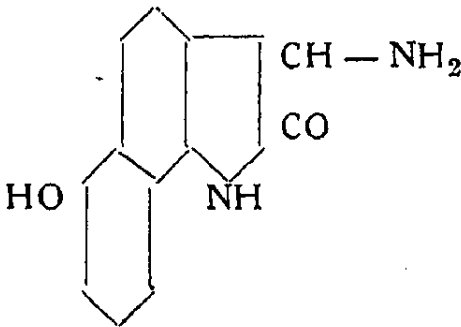
Как мы видели выше, ферменты внутри организмов несут определенную биологическую функцию ускорителей химических процессов. При этом нужно отметить, что с точки зрения выполнения этой функции современные ферменты являются исключительно совершенными «инструментами». Они обладают как громадной из ряда вон выходящей каталитической активностью, так и чрезвычайно высокой специфичностью своего действия. Это позволяет живой протоплазме при наличии сравнительно небольших количеств фермента осуществлять химические реакции с

колоссальной скоростью и вместе с тем создает предпосылки для точной регулировки этих реакций. От чего же зависит эта исключительная сила действия ферментов, и как мог в процессе эволюции образоваться, возникнуть такого рода совершенный аппарат?

Впоследствии оказалось, что естественная карбоксислаза дрожжей построена по типу лангенбековской модели. Для интересующихся этим вопросом мы приводим здесь химическую формулу этого фермента [10].

Из этой формулы видно, что в естественной карбоксилазе активная аминокгруппа сочетается с очень сложным молекулярным комплексом, содержащим в себе два гетероциклических кольца. Этот комплекс представляет собой не что иное как витамин В₁. Он связан в свою очередь с двумя молекулами фосфорной кислоты. Но это еще не все. Описанное соединение сочетается еще с белковой молекулой специфического строения.

Искусственные модели карбоксилазы

Катализатор		Активность при			
		137°	100°	70°	37°
метиламин	$\text{CH}_3 - \text{NH}_2$	0.25	—	—	—
гликокол	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	4.65	—	—	—
фениламиноуксусная кислота		7.4	3.2	—	—
аминоксиндол		—	74.0	6.5	—
аминонафтоксиндол		—	—	12.2	0.64
окси-амино-нафтоксиндол		—	—	—	1.48

ние. Мы не можем выкинуть из этого образования ни одной части, ни одной атомной группировки, без того, чтобы коренным образом не снизить каталитической активности всего комплекса в целом. Благодаря именно этому определенному сочетанию активных и активирующих группировок, сочетанию, которым наделена естественная карбоксилаза, она обладает каталитической активностью, почти в 10 тыс. раз превосходящею активность наиболее совершенной лангенбековской модели.

По тому же типу, что и карбоксилаза, построены многие другие ферменты, химическую природу которых удалось выяснить в последнее время. Так, например, каталаза [11] — фермент, расщепляющий перекись водорода на кислород и воду, также представляет собой сложный комплекс, включающий в себя железо, пиррольные кольца и специфический белок. Слабым каталазным действием обладают уже просто ионы неорганического железа. Но если соединить атом железа с пиррольным кольцом, то его каталитическая активность возрастет в несколько раз. В организмах, в частности в крови животных, мы находим железо в соединении с четырьмя пиррольными кольцами в виде так называемого гемина. Гемин уже обладает каталазным действием, превосходящим примерно в тысячу раз действие неорганического железа. В естественном ферменте, в каталазе, гемин соединен со специфическим белком. В результате этого его каталитическое действие повышается еще в 10 млн. раз. Таким образом, в конечном итоге 1 миллиграмм железа, входящий в состав каталазного комплекса, может по своему каталитическому действию заменить 10 тонн неорганического железа.

На этих примерах мы наглядно видим один из случаев внутренней химической организации живого вещества. До тех пор, пока существовали только отдельные части ферментного комплекса или эти части не были соединены между собой, они обладали лишь очень слабым каталитическим действием. Только при совершенно определенном сочетании этих частей в едином комплексе происходит такой колоссальный скачок каталитической активности, что здесь мы в праве говорить о появлении нового качества, которое отсутствовало раньше у отдельных компонентов и возникло только вследствие известного их сочетания.

Те многочисленные превращения органического вещества, которые протекали сперва в водном растворе, а затем в первичных коллоидных образованиях, совершались здесь с относительно малой скоростью, сравнительно медленно. Ускорение отдельных реакций могло достигаться главным образом лишь благодаря действию неорганических катализаторов (например, солей кальция, железа, меди и т. д.), которые, конечно, присутствовали в водах первичного океана в довольно значительных количествах. Но постепенно наравне с неорганическими катализаторами все большую роль в деле ускорения химических реакций начинают играть и разнообразные возникающие к тому времени органиче-

ские соединения. Выше мы, ссылаясь на работы Лангенбека и в особенности на работы Кузина [12], указывали, каким существенным каталитическим действием могут обладать даже такие сравнительно простые соединения, как, например, метиламин, гликокол, некоторые формы альдегидов, сахара и т. д.

В индивидуальных коллоидных образованиях эти соединения комбинировались между собой и с присутствующими здесь неорганическими катализаторами на сотни и тысячи ладов. Среди всех этих комбинаций, конечно, встречались и такие, каталитическая активность которых была весьма сильно увеличена благодаря промотированию или активированию основного катализатора причленившимися к нему добавочными компонентами. Несомненно, что возникновение такой комбинации, такого комплекса катализатора и активирующих его органических соединений могло создать значительные преимущества для той коацерватной капельки, где этот комплекс образовался. Если указанный катализатор ускорял ту или иную важную синтетическую реакцию, то его активирование создавало мощный толчок для более быстрого роста данного коллоидного образования.

Эта внутренняя химическая рационализация закреплялась в процессе «естественного отбора», уничтожающего все «неудачные», случайно возникающие комбинации, в которых каталитическая активность была понижена и которые, следовательно, уменьшали общую динамичность всей системы. Для дальнейшего развития оставались только комплексы, которые наиболее быстро, наиболее рационально выполняли свои функции.

Но каждое удлинение цепей синтетических реакций порождало внутри коацерватов возникновение все новых, все более сложных соединений, многие из которых входили в состав указанных выше каталитических комплексов. Это, с одной стороны, постепенно усложняло строение таких комплексов, но вместе с тем благодаря постоянно действующему «естественному отбору» придавало этим комплексам все большую активность и специфичность каталитического действия, высокую приспособленность к несению тех функций, которые они выполняли в наших коллоидных образованиях. Таким путем здесь создавалась возможность при помощи известной комбинации небольшого количества определенных соединений быстро осуществлять такого рода реакции, которые раньше могли быть произведены лишь при наличии громадных количеств катализаторов или потребовали бы для своего завершения очень больших промежутков времени.

В результате указанного эволюционного процесса те простейшие неорганические катализаторы, которые в растворе первичных органических веществ суммарно ускоряли целые группы сходных между собой реакций, в наших коллоидных образованиях были заменены довольно сложными, но и весьма совершенными ферментативными комплексами, не только обладающими колоссальной активностью, но и весьма специализированными,

действующими лишь на отдельные реакции, дифференцированных ускоряющими. Легко понять, какие громадные преимущества создавало возникновение таких химических механизмов для общей организации химических процессов, совершающихся в данном коллоидном образовании.

Не подлежит никакому сомнению, что современные нам ферменты по своей природе представляют собой сочетание известных химических веществ. Мы сейчас уже вплотную подошли к искусственному синтезу ферментов. И тем не менее, ферменты обладают рядом свойств, характерных для биологических систем. И это не только потому, что сейчас мы находим ферменты только внутри живых организмов, но и потому, что эти системы в естественных условиях нигде в другом месте и не могли возникнуть. Такое «счастливое» сочетание атомных группировок, какое мы находим в ферментных комплексах, та чрезвычайно характерная для ферментов связь, существующая между их строением и биологической функцией, не могли возникнуть «случайно». Даже Лангенбек, сознательно присоединяя все новые и новые активирующие группировки к своей модели, не мог достигнуть той степени совершенства, которая имеется в природных образованиях. Для того чтобы создать такие совершенные сочетания активных и активирующих группировок, какие имеются в естественной карбоксилазе или каталазе, необходима была определенная направленность процесса эволюции материи, необходим был «естественный отбор», уничтожающий все неудачные комбинации и оставляющий для дальнейшего развития только такие комплексы, которые наиболее быстро, наиболее рационально выполняли свои биологические функции.

До известной степени эта эволюция ферментов продолжается и сейчас, и мы можем ее проследить, изучая ферментные системы в современных нам высших и низших организмах. Так, например, согласно исследованиям Р. Куна [13], инвертаза, полученная из различных рас дрожжей, не вполне одинакова по своей активности. Очень интересны также и исследования естественных протеолитических систем низших и высших животных и растений [14]. Эти исследования показывают, что протеазные системы низших являются как бы прототипом аналогичных систем высокоразвитых организмов. Весьма вероятно, что последние системы развились из первых в процессе эволюции. Аналогичные примеры можно найти и из области окислительных ферментов. Однако нужно отметить, что основные формы построения ферментных систем сложились уже на сравнительно ранней стадии разбираемой нами эволюции в самом начале процесса становления жизни. Поэтому даже у наиболее низко организованных живых существ отдельные ферменты уже представлены в виде довольно совершенных систем.

Конечно, эволюция ферментов в описанных нами коллоидных образованиях могла успешно протекать только в том случае,

если параллельно с этим создавалась известная регулировка, известная согласованность отдельных ферментативных реакций между собой. Каждое существенное увеличение скорости той или иной реакции закреплялось в процессе эволюции только в том случае, если оно было прогрессивным с разбираемой нами точки зрения, когда оно не нарушало динамической устойчивости всей системы, а, наоборот, способствовало большей внутренней упорядоченности в организации данного коллоидного образования.

В силу сказанного, в процессе эволюции этих образований в них на ряду с возникновением и рационализацией отдельных ферментативных комплексов должна была складываться и организация более высокого порядка. Эта организация была основана на известной координации уже целых ферментативных групп, что позволяло согласованно осуществлять такого рода сложные химические превращения, которые были совершенно недоступны простейшим первичным коацерватам.

В предыдущей главе мы уже отмечали, насколько разнообразными могут быть те внутренние механизмы, при помощи которых происходит в протоплазме регулирование ферментативного действия. Собственно, всякое изменение физико-химической обстановки приводит здесь к тем или иным сдвигам ферментативной активности, а следовательно, и к изменению соотношения скоростей отдельных реакций. То же самое должно было иметь место и в наших коллоидных образованиях. Медленно идущие некатализируемые ферментами реакции здесь уже отошли на задний план. Ведущую роль приобрели ферментативные процессы, скорость которых была очень велика, но в то же время была подвержена существенным изменениям в зависимости от ряда причин. Увеличение или уменьшение количества данного фермента, возникновение того или иного специфического активатора или парализатора, изменение кислотности или сдвиг окислительно-восстановительного потенциала — все это может увеличить скорость данной ферментативной реакции во многие сотни и тысячи раз или, наоборот, уменьшить ее почти до нуля.

В процессе эволюции наших коллоидных образований такого рода сдвиги должны были происходить в самых широких масштабах. В результате внутренних химических процессов и в результате воздействия внешних причин в различных индивидуумах соотношение скоростей ферментативных реакций должно было варьировать в широких пределах. Но из этого обширнейшего поля разнообразных комбинаций ферментативных реакций сохранялись лишь очень немногие, лишь те, которые не нарушали динамической устойчивости данного индивидуума и способствовали наиболее быстрому его разрастанию. Так создавались внутренние физико-химические механизмы регулирования ферментативного действия.

Среди всех других физико-химических факторов, оказываю-

щих то или иное влияние на ферментативные процессы, мы должны обратить особое внимание на структуру наших коллоидных образований. Как мы видели выше, в живой протоплазме ряд ферментов может действовать или в направлении гидролиза или в направлении синтеза в зависимости от того, находится ли данный фермент просто в растворе или он адсорбирован на поверхности протоплазменных структур. Но, согласно исследованиям А. Шмука [15], даже и неорганические коллоидные гели с их весьма элементарной структурой могут влиять на направление каталитических реакций. Так, например, добавление силикогеля к водному раствору уксусной кислоты и метилового спирта способствует каталитическому синтезу сложного эфира из указанных веществ. Аналогичное значение должны были иметь и те нестойкие элементарные структуры, которыми были уже наделены первичные коацерватные образования. Эти структуры должны были совершенно определенным образом влиять на характер сначала каталитических, а потом и ферментативных реакций, протекающих в коацерватных капельках, они должны были придавать этим реакциям направленность в сторону синтеза.

Однако в простейших коацерватах указанные структуры являлись еще слишком эфемерными, слишком зависящими от случайных внешних воздействий для того, чтобы гарантировать известное постоянство синтетических процессов. Поэтому в результате действия «естественного отбора» параллельно с эволюцией ферментных систем должна была происходить и эволюция структуры первичных коллоидных образований, эволюция их пространственной организации. В соответствии с тем, что мы говорили выше, эта эволюция была направлена на создание более динамически устойчивых форм, а следовательно, на известного рода эмансипацию коацерватных структур от внешних более или менее случайных направляющих сил. Постепенно эти силы должны были быть заменены такой внутренней организацией, при которой существование указанных структур внутри коллоидных образований постоянно поддерживалось бы той энергией, которая возникает в результате экзотермических реакций, закономерно протекающих внутри самих этих образований. Как мы говорили в предыдущей главе, именно такая подвижная структура лежит в основе пространственной организации живого вещества.

Но на ряду с этим в эволюционирующих коллоидных образованиях, вследствие происходящего здесь постепенного агрегирования ряда соединений, в конечном итоге должно было произойти отслаивание некоторой части этих соединений из общей более или менее оптически однородной массы. Таким путем произошло возникновение видимых уже под микроскопом структур.

Несомненно, что этой морфологической дифференциации веществ внутри коллоидных образований должна была предшествовать длительная химическая эволюция. Лишь тогда, когда в

результате этой эволюции создавалась такая высокая форма организации, при которой многие сотни и тысячи отдельных реакций могли быть согласованы в едином синтетическом процессе, — лишь тогда могли возникнуть такие исключительно сложные и высокомолекулярные соединения, как, например, липопротеиды, нуклеопротеиды и т. д. Но и эти соединения в начале их образования не могли быть обособлены от общей массы коллоидных веществ. Только постепенно в процессе их агрегирования создались предпосылки для их морфологической дифференциации.

Мы находим нуклеиновую кислоту в разных ее модификациях во всех известных нам живых существах. Даже у организмов, стоящих на самой нижней ступени эволюционной лестницы, она в химическом отношении немногим отличается от нуклеиновой кислоты высших животных и растений. Таким образом, уже здесь вполне химически дифференцировалось то вещество, из которого построено клеточное ядро. Иначе обстоит дело с его морфологической дифференциацией.

Еще Э. Терраун и Ф. Зюкс [16], затем А. Буавэн и Л. Месробеан [17], а позднее А. Белозерский [18] установили, что в телах бактерий находится очень большое количество нуклеиновой кислоты. Но она здесь не дифференцирована в виде ядра. Обширное исследование в этом направлении было в недавнее время осуществлено А. Имшенецким [19]. Названный автор показал, что, несмотря на наличие тимонуклеиновой кислоты, представители отряда *Eubacteriales*, объединяющего большинство известных бактерий, совершенно не имеют хроматиновой структуры, которую можно было бы рассматривать как ядро. Нуклеиновые вещества находятся у этих бактерий в диффузном состоянии. То, что принималось прежними авторами за ядерные структуры, не имеет к ядру никакого отношения. В частности, за ядра принимались липопротеидные тельца спороносных бактерий, полярные зерна неспороносных видов, цитоплазматические нити, появляющиеся у более старых форм, и т. д. По Имшенецкому, ядерная субстанция распределена в бактериях совершенно равномерно и не дает каких-либо обособленных образований. Следовательно, у подавляющего большинства бактерий ядерная субстанция дифференцирована в химическом и не обособлена в морфологическом отношении. Микроскопически невозможно провести границу между ядерными и плазматическими компонентами бактерий. Здесь хроматин полностью поглощается цитоплазмой.

Однако у более сложно организованных *Mycobacteriales* уже можно обнаружить некоторую дифференциацию ядерной субстанции. В связи с этим А. Имшенецкий считает, что способность хроматина к отслаиванию и формированию видимых зерен или телец следует рассматривать как прогрессивное явление. В зависимости от филогенетического положения данного микроорганизма эта способность может быть выражена в неодинаковой степени. В частности, сравнительно цитологические исследо-

вания миксобактерий позволяют обнаружить здесь формы, где ядерная субстанция находится еще в диффузном состоянии, и только на определенной стадии развития у них образуются структуры, состоящие из хроматина. У других форм ядерная субстанция уже дифференцирована не только в химическом, но и в морфологическом отношении; здесь уже произошло стойкое отслаивание хроматина, но ядро как стабильная структура еще не возникло. Наконец, у третьих форм миксобактерий (*Muxobacterium Sorangium*) образовалось уже вполне компактное ядро.

Это постепенное дифференцирование ядра происходило благодаря тому, что более растворимые формы нуклеиновой кислоты превращались в более комплексные, более агрегированные ее модификации. В *Eubacteriales*, например в относительно примитивно организованных микрококках и сарцинах, вполне возможно нераздельное сосуществование как цитоплазматических, так и ядерных веществ вследствие того, что тимонуклеиновая кислота здесь находится еще в модификации, не требующей ее безусловного отслаивания. Напротив, в каждой ядерной клетке это отслаивание обязательно должно происходить, так как здесь агрегирование тимонуклеиновой кислоты зашло уже весьма далеко.

А. Кизель [20] на основании обширного собранного им материала пишет по этому поводу следующее: «Первоначальное расслоение протоплазмы, приведшее в процессе эволюции к образованию клеточного ядра, наследственно закрепилось в современных ядерных клетках и как бы каталитически передается от клетки к клетке. Это произошло не только благодаря появлению в составе клеток нуклеиновой кислоты, несомненно, вначале имевшей гораздо более близкое сходство с современной цитоплазматической нуклеиновой кислотой. Появление ядра связано было с перерождением этой, растворяющейся в общей массе протоплазмы первоначальной нуклеиновой кислоты в более комплексную форму ядерной и тимонуклеиновой кислоты в части организмов; в другой же части, однако, а именно в бактериях и сине-зеленых водорослях, несмотря на химическое перерождение, она осталась в стадии малой полимеризации, а потому не дифференцировалась в морфологическое ядро».

В биологической литературе еще до сих пор находят довольно широкое распространение представления, согласно которым живая клетка сложилась вследствие сожителства (симбиоза) более простых существ, которые ранее имели самостоятельное бытие. Эти теории так называемого «симбиогенезиса» ведут свое начало от С. Мережковского. По Мережковскому [21], существует два вида протоплазмы, не только в корне различных по своим свойствам, но даже имеющих различное историческое происхождение. Первый тип, так называемая «микоплазма», по существу представляет собой хроматин ядра. Второй тип, «амебоплазма», не что иное как простая цитоплазма. Ход эволюции

живых организмов, по Мережковскому, был следующий. Самой древней формой жизни были «биококки», мельчайшие ультрамикроскопические частицы «микоплазмы», лишенные организации, могущие существовать при температуре, близкой к точке кипения воды, и обладающие способностью синтезировать белковые вещества и углеводы прямо из неорганических материалов. Из этих биококков прежде всего образовались бактерии. Позже, когда температура земных вод упала ниже 50° и в них появилась обильная органическая пища, образованная бактериями, зародились небольшие массы «амебоплазмы», которые ползали по дну океана и пожирали бактерий. Современная снабженная ядром клетка возникла в результате симбиоза между двумя различными типами организмов, когда попавшие внутрь амебоплазмы биококки не были переварены и оказались способными вести симбиотическое существование.

Таким образом, согласно приведенной теории, устанавливается резкая грань между цитоплазмой и ядром, причем особенно подчеркивается первенствующая и независимая роль последнего. Еще дальше в этом направлении пошли последующие авторы. Так, например, Э. Минчин [22] высказывал в свое время предположение, что первичными живыми существами были мельчайшие, может быть, даже ультрамикроскопические частицы хроматина. Эти частицы были наделены способностью к самостоятельному обмену веществ, в частности, — к синтезу органических соединений из простейших неорганических веществ. Только впоследствии вокруг них образовалась обволакивающая их протоплазма, которая в конечном итоге играла здесь лишь роль некоторой среды. Сюда же примыкают и многочисленные теории о первичном возникновении мономолекулярных генов и тому подобных гипотетических образований.

Приведенные нами выше химические исследования нуклеиновых кислот и их распределения в ядре и цитоплазме отнюдь не подтверждают всех этих теорий. Генетическое единство цитоплазмы и ядра наглядно демонстрируется тем, что в телах бактерий мы находим ингредиенты того и другого образования, цитоплазменную и ядерную нуклеиновые кислоты в тесной смеси, в неразрывном сосуществовании, в отсутствии какой-либо морфологической дифференцировки. Против теории симбиогенеза и примыкающих к ней представлений говорит и то, что ядерная нуклеиновая кислота образуется в конце концов из цитоплазменной и что в процессе онтогенетического развития клетки происходит перерождение менее агрегированной модификации тимонуклеиновой кислоты в более уплотненную полимеризованную ее форму, что связано с уменьшением растворимости и отслаиванием ее из общей коллоидной массы протоплазмы. Наряду с этим сравнительные цитологические исследования различных бактериальных форм очень наглядно показывают, как осуществлялось подобного же рода дифференцирование ядра из

общей массы протоплазмы в процессе филогенетического развития организмов.

Поэтому указанные выше теории в настоящее время должны быть нами совершенно оставлены. Возникновение клетки с ее дифференцированными форменными элементами является лишь внешним видимым выражением постепенного усложнения и усовершенствования внутренней физико-химической структуры наших первичных коллоидных образований. Их весьма эфемерная, вначале взаимная ориентация молекулярных комплексов в результате эволюционного процесса приобрела более устойчивый характер и в конечном итоге дала начало для образования уже различных под микроскопом комплексов и структур.

Таким образом, в результате длительной эволюции тех индивидуальных коллоидных систем, которые когда-то обособились, выделились из первоначального водного раствора органических веществ, возникли простейшие организмы, первичные живые существа. Эта новая форма существования материи могла сложиться только на основе биологических закономерностей, которые создавались в самом процессе становления жизни. Мы тщетно стали бы пытаться объяснить при помощи каких-либо элементарных физических или химических процессов возникновение таких характерных для организмов свойств, как, например, определенное строение белков, асимметрия протоплазмы, исключительная скорость и согласованность биохимических реакций, способность к самовоспроизведению и т. д.

Все эти свойства потому так резко и отличают живое от неживого, что они возникли в результате явлений, которые мы сейчас уже не наблюдаем в неорганической природе, в первую очередь — в результате «естественного отбора», постоянно изменяющихся и разрастающихся индивидуальных коллоидных образований.

Выше, на примере ферментов, мы показали, что такие совершенные, такие «целесообразно построенные» комплексы могли сложиться только благодаря действию «естественного отбора», уничтожающего все неудачные комбинации и оставляющего для дальнейшего развития только такие системы, которые наиболее быстро, наиболее рационально выполняли свои функции исключительно мощных специфических катализаторов. Тот же «естественный отбор» привел и к созданию определенного ритма в построении белковых веществ и к такой согласованности отдельных реакций, которая обеспечила исключительное совершенство асимметрии протоплазмы и т. п.

Правда, прообраз этих свойств в их исходном зачаточном состоянии мы можем подметить и у безжизненных образований,

например у искусственных или естественно возникших коацерватов. Здесь, как мы видели, имелась и некоторая очень нестойкая асимметрия и известная весьма элементарная структура, и те или иные неорганические катализаторы и т. д. Но в результате действия «естественного отбора» все эти свойства в живых организмах достигли такой степени совершенства, что мы в праве здесь говорить о появлении новой формы существования материи, о качественном «скачке» в эволюции материи.

Этот «скачок» воспринимается нами в особенности отчетливо потому, что все промежуточные звенья, соединявшие в эволюционном процессе живое и безжизненное, давно уже исчезли с лица Земли. Всюду, где внешние условия благоприятствуют развитию жизни, мы находим сейчас бесчисленное количество уже вполне сложившихся высокоорганизованных живых существ. Если бы сейчас в этих условиях где-либо и появилось органическое вещество, то его эволюция не могла бы быть длительной. Очень скоро оно было бы уничтожено, съедено населяющими землю, воду и воздух микроорганизмами. Поэтому в настоящее время мы лишены возможности непосредственно наблюдать в природных условиях описанный выше процесс эволюции органических веществ, процесс зарождения жизни. Мы знаем только начало этого процесса в виде сконцентрированного в коацерватах органического вещества и его конец в виде уже вполне сложившихся современных простейших организмов. Но, вдумчиво изучая организацию тех и других образований, мы можем мысленно перебросить мост через пропасть, разделяющую сейчас эти две различные формы существования материи.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. K l u y v e r. Erg. d. Enzymforsch. 4, 230. 1935.
2. W. K u h n. Erg. d. Entzymforsch. 5, 1. 1936.
3. P. R i t c h i e. Asymmetric syntesis and asymmetric induction. Oxford. 1933.
4. W. L a n g e n b e c k u. G. T r i e m. Zeit. physikal. Chem. 177, 401. 1936.
5. H. K r e b s. Zeit. physiol. Chem. 217, 191. 1933; Bioch. J. 29, 1620. 1935; Ann. Rev. Biochem. 5, 247. 1936.
6. B. K i s c h. Biochem. Zeit. 280, 41. 1935.
7. Г. Г а у з е. Асимметрия протоплазмы. Изд. Акад. Наук. 1940.
8. W. Mills, J. Soc. Chem. Industry, 51, 750. 1932.
9. W. L a n g e n b e c k. Die organischen Katalysatoren. Berlin. 1935.
10. K. L o h m a n n u. Ph. S c h u s t e r. Biochem. Zeit. 294, 188. 1937.
11. K. Z e i l e u. H. H e l l s t r ö m. Zeit. physiol. Chem. 192, 171. 1930; 195, 99. 1931.
12. А. К у з и н. Органические катализаторы при синтезе сахаров. Тр. 3-го Моск. Госуд. мед. инст., вып. V. 1940.
13. R. K u h n. Zeit. physiol. Chem. 125, 28. 1923.

14. W. Grassmann. *Erg. d. Enzymforsch.* 1, 129. 1932.
 15. А. Шмук. Докл. Всесоюзн. Акад. с-х. наук им. В. И. Ленина, вып. 23—24, стр. 42. 1938.
 16. E. Terroine et F. Szuics. *C. R.* 190, 76. 1930; *Ann. de physiol. et de physico-chimie biol.* 6, 129. 1930.
 17. A. Boivin. et L. Mesrobian. *C. R. 8. biol.* 114, 302. 1933.
 18. А. Белозерский. *Микробиология*, 8, 504, 1939.
 19. А. Имшенецкий. *Строение бактерий*, Из. Ак. Наук. 1940.
 20. А. Кизель. *Успехи современной биологии*, 11, 1. 1939.
 21. S. Mereschkowsky. *Biol. Centralblatt*, 30, 278, 321, 353. 1910.
 22. Э. Минчин. *Эволюция клетки*, пер. Шайкиной. 1923.
-

ГЛАВА IX

ДАЛЬНЕЙШАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЕРВИЧНЫХ ОРГАНИЗМОВ

Образованием первичных организмов, собственно, заканчивается вопрос о возникновении жизни на Земле. После этого уже идет история дальнейшего развития, дальнейшей эволюции живых существ. Но внимательное изучение этой последующей эволюции очень много дает нам для понимания тех процессов, которые происходили до возникновения жизни, во время самого ее становления и которые не могут быть сейчас непосредственно нами наблюдаемы в природных условиях, так как все промежуточные звенья между живой и косной материей, все коацерваты и первичные коллоидные образования давно уже исчезли с лица Земли.

Живые существа, стоящие на разных ступенях эволюционной лестницы, обладают далеко не одинаковой организацией протоплазмы. И ее состав, и наличие определенного набора ферментов, и структура живого вещества в ряде отношений могут значительно различаться у представителей отдельных систематических групп организмов. Но в особенности отчетливо это различие бросается в глаза в отношении обмена веществ, в отношении организации протоплазмы во времени.

Сравнительное изучение этой организации показывает, что некоторые ее черты являются присущими всем без исключения живым существам, они, так сказать, заложены в самой основе живого вещества. Напротив, другие формы организации появляются лишь на определенной ступени филогенетического развития, они представляют собой лишь добавочные «надстройки», которые постепенно складывались в процессе дальнейшего усовершенствования, дальнейшей эволюции простейших организмов. Устанавливая последовательный ход этой эволюции, это постепенное усложнение организации живого вещества при переходе от низших организмов к высшим, мы можем составить себе известное представление и о тех формах организации материи, которые предшествовали появлению наипростейших живых существ.

Таким образом, сравнительное изучение биохимических процессов у современных живых существ позволяет нам до извест-

ной степени судить и о ходе возникновения первичных организмов. Как анатом, изучая и сравнивая строение органов отдельных животных, воспроизводит картину эволюционного развития этих животных, так и биохимик на основании изучения химических процессов, лежащих в основе различных жизненных явлений, может составить себе представление о последовательных этапах, которыми шла эволюция, приведшая к возникновению живых существ.

Согласно тем представлениям, которые были изложены в предыдущих главах, одним из наиболее древних, — первичных процессов, свойственных живому веществу, должен был являться процесс усвоения, ассимиляция растворенных в окружающей среде органических веществ. Уже простейшие коацерваты обладали способностью к адсорбции этих веществ. В основе всей последующей эволюции указанных коллоидных образований лежал «естественный отбор» тех из них, которые наиболее быстро, наиболее совершенно усваивали эти вещества из окружающего раствора. Поэтому все возникшие в результате этой эволюции первичные организмы уже при самом своем появлении должны были обладать такой организацией, которая позволяла бы им питаться органическими веществами. Эта способность необходимо должна была быть заложена в самой основе построения живого вещества.

Следовательно, если правильно все то, что мы излагали выше, этой способностью и сейчас должны быть наделены все современные нам живые существа, которые произошли от указанных первичных организмов. И действительно, способность к питанию органическими веществами мы находим, за единичными и по существу кажущимися исключениями, решительно у всех живых существ, несмотря на то, что многие из них уже давно приспособились к самостоятельному питанию неорганическими веществами.

Большинство существующих в настоящее время видов организмов вообще способно питаться исключительно только органическими соединениями. Сюда относятся все как высшие, так и низшие животные, громадное большинство бактерий и все виды грибов. Уже один этот факт является чрезвычайно показательным. Трудно себе представить, что возникновение всех этих разнообразных живых существ связано с некоторым регрессом, с потерей способности к автотрофному питанию. При этом нужно еще допустить, что эта потеря произошла настолько полно, что даже нигде у перечисленных видов мы не находим и каких-либо признаков, каких-либо рудиментов аппарата, позволявшего им когда-то самостоятельно питаться неорганическими веществами. Такое предположение является крайне маловероятным.

Напротив, изучение типичных автотрофных организмов, и в частности зеленых растений, показывает, что они в значительной

степени сохранили в себе способность питаться готовыми органическими веществами. Эта способность выражена особенно ясно у низших представителей растительного мира, у различных видов водорослей. Несмотря на то, что эти живые существа вполне могут жить автотрофно, искусственное кормление их органическими веществами показало, что в ряде случаев оно отзывается весьма благоприятно на их развитии [1]. При этом было совершенно определенно установлено, что речь идет именно о непосредственном усвоении органических веществ. Это усвоение может проходить и параллельно с процессом ассимиляции углекислоты, но в ряде случаев этот последний процесс может быть легко выключен, и водоросли могут быть переведены исключительно на сапрофитный образ жизни. Особенно пышно разрастаются в присутствии органических веществ сине-зеленые водоросли, например, *Nostok* [2], диатомовые и даже некоторые зеленые водоросли, например *Spirogyra*. Некоторые виды этой последней, а также ряд сине-зеленых водорослей, повидимому, и в природных условиях используют органические вещества загрязненных водоемов. Во всяком случае, они очень пышно развиваются именно в присутствии органических соединений. Все это указывает на то, что перечисленные организмы первично обладали способностью к органическому питанию, и только в дальнейшем, в процессе эволюции, на этот основной механизм наложился новые формы организации, позволившие водорослям ассимилировать неорганические вещества. Поэтому в соответствующих условиях они так легко и могут вернуться к прежнему первичному методу питания.

Но то же самое справедливо и в отношении высших зеленых растений, организмов, которые уже давно специализировались на ассимиляции углекислоты в процессе фотосинтеза. Не говоря уже о том, что значительное количество клеток тела высших растений вообще может питаться только за счет органических веществ (клетки корня, стебля и т. п.), даже и хлорофиллоносные клетки с их чрезвычайно дифференцированным и высокоорганизованным ассимиляционным аппаратом сохранили в себе способность к питанию готовыми органическими веществами. В этом убеждает нас как наблюдение за развитием ростков и этиолированных листьев [3], так и опыты с искусственными чистыми (стерильными) культурами высших растений [4]. В этих опытах на растворах сахара и близких к нему веществ удавалось выращивать высшие растения при отсутствии света в течение целого вегетационного периода. Точно так же, пользуясь методом Мотеса, и при непосредственном введении через устьица в паренхиму зеленых листьев растворов органических веществ, можно установить способность паренхимных клеток усваивать эти вещества. В частности, в моей лаборатории А. Курсанов показал, что при такого рода «кормлении»-зеленых листьев сахаром можно констатировать значительное увеличение

количества белковых веществ (источником азота в этих случаях являлись неорганические соединения).

Как мы уже говорили выше, многие исследователи придерживались и в настоящее время придерживаются того взгляда, что углерод появился впервые на земной поверхности в форме углекислоты. Из этого положения с неизбежностью вытекает представление, согласно которому первичные живые существа должны были быть наделены способностью к самостоятельному автотрофному питанию, должны были усваивать углекислоту как первичный источник углерода. Однако это положение находится в коренном противоречии со всеми данными, которые мы можем почерпнуть при изучении систематики низших организмов. Это противоречие уже давно привлекало к себе внимание ряда биологов. Первичное возникновение зеленых способных к ассимиляции организмов представлялось весьма невероятным, так как легко можно убедиться, что фотосинтез требует для своего осуществления уже весьма высоко развитой организации. Поэтому, когда были открыты некоторые виды бактерий, способных питаться исключительно минеральными веществами, используя для этого химическую энергию таких экзотермических реакций, как, например, окисление аммиака в азотистую и азотную кислоты, окисление сероводорода в серную кислоту, перевод закиси железа в окись, то на эти организмы было обращено особое внимание именно с указанной точки зрения. Нитрофицирующие бактерии, бактерии, окисляющие сероводород, железобактерии были весьма поспешно провозглашены образцами тех живых существ, которые впервые появились на земной поверхности. Такой взгляд высказал уже С. Виноградский (род. в 1856 г.) после того, как он впервые установил способность открытых им нитрозных микробов существовать в отсутствии органических веществ [5]. Ту же мысль более подробно развил Г. Осборн [6] в книге «Происхождение и эволюция жизни». В этом же направлении высказывался и В. Омелянский [7].

Основанием для признания указанных бактерий первичными живыми существами является исключительно их предполагаемый «примитивный обмен веществ». Но внимательное рассмотрение вопроса показывает, что он далеко не так примитивен. В этом отношении отмеченные автотрофы могут быть вполне поставлены на одну доску с зелеными автотрофами, хотя бы с простейшими сине-зелеными водорослями. Как для фотосинтеза требуется уже определенная дифференцированная структура протоплазмы, так и ассимиляция углекислоты на основании химосинтеза (нитрификации, окисления серы, железа и т. д.) может происходить только при наличии высокоразвитой организации живого вещества, которая могла возникнуть лишь на основе длительной эволюции организмов. Кроме того, нужно отметить, что все указанные процессы химосинтеза требуют для своего осуществления молекулярного кислорода, который, как мы ви-

дели выше, отсутствовал в первичной атмосфере Земли и появился только тогда, когда жизнь на нашей планете зашла уже очень далеко в своем развитии.

Таким образом, предположение о первичном возникновении нитрифицирующих и других подобных бактерий не внесло ничего принципиально нового в те представления о происхождении жизни, которые существовали раньше. С таким же успехом можно говорить и о первичном возникновении зеленых автотрофов, если мы будем стоять на той точке зрения, что только углекислота являлась первичным материалом для построения живых существ. Вместе с тем это предположение нисколько не ликвидирует того противоречия, которое существовало между указанной точкой зрения и данными систематики низших организмов. Согласно этим данным, способные к химиосинтезу микроорганизмы могут являться только лишь боковым ответвлением того главного эволюционного пути, которым шло развитие всех остальных живых существ. Целый ряд соображений, на которых мы остановимся ниже, убеждает нас в том, что эта довольно изолированная группа живых существ должна была возникнуть в сравнительно более поздний период эволюции органического мира, примерно тогда, когда появились и первые способные к фотосинтезу автотрофы.

Здесь нужно также отвести и то широко распространенное мнение, что нитрификаторы и подобные им организмы совершенно лишены способности усваивать органические вещества и что эти вещества являются для них даже ядовитыми. Это мнение основано на том наблюдении, что указанные организмы не развиваются на питательных средах, содержащих в себе глюкозу и другие углеводы. Но мы знаем ряд бактерий, для которых углеводы также не могут служить источником углерода. Тем не менее, эти организмы вполне способны питаться фенолом и даже толуолом, т. е. такими органическими веществами, которые являются типичными ядами для большинства бактерий и поэтому широко применяются в качестве антисептиков. Весь вопрос, таким образом, сводится лишь к тому, в форме каких соединений и при каких концентрациях органическое вещество является доступным для того или иного организма.

Вопрос о том, какие из населяющих сейчас Землю организмов являются наиболее близкими к первичным живым существам, еще не может считаться разрешенным. Некоторые систематики принимают за такие организмы бактерии [8], так как их протоплазма является наименее дифференцированной и, кроме того, при палеонтологических исследованиях бактерии можно обнаружить уже в палеозое и даже в архейской эре. Другие ученые считают, однако, что бактерии представляют собой лишь боковую ветвь эволюционного процесса, а родоначальниками всего живого на Земле являются формы, близкие к *Flagellata* [9].

Но как в том, так и в другом случае за наиболее примитив-

ные организмы, за те формы, которые стоят в самом низу систематической лестницы, всегда принимаются живые существа, способные питаться только органическими соединениями. Если некоторые из систематиков и отказываются в них видеть существа, наиболее близкие к первичным, то это основывается не на каких-либо систематико-морфологических данных, а на том предвзятом (и как мы видели выше, превратном) мнении, согласно которому только углекислота могла служить источником углерода для первичных живых существ.

Таким образом, изучение современных нам организмов приводит нас к заключению, что способность усваивать растворенные органические вещества является наиболее древней, наиболее примитивной формой питания и что из всех живых существ, которые мы в настоящее время знаем, она присуща наиболее просто организованным.

Вместе с тем, в полном согласии с мнением, что способность к усвоению органических веществ стала складываться уже задолго до возникновения первичных организмов, находится и тот факт, что даже наиболее низко организованные современные живые существа обладают уже вполне сложившимся, весьма совершенным аппаратом, позволяющим им с исключительной быстротой улавливать и усваивать органические вещества. Изучение многочисленных видов бактерий показывает, что эти микроорганизмы могут усваивать органические вещества даже тогда, когда последние находятся в растворе в ничтожной концентрации. И в естественных условиях ряд микроорганизмов, входящих в состав планктона, живет за счет тех растворенных органических веществ, которые только в виде следов находятся в окружающей их среде.

Это явление вполне соответствует общеизвестной исключительной способности микроорганизмов к адсорбции органических веществ. Ряд опытов показывает, что бактерии адсорбируют эти вещества прямо с поразительной скоростью и полнотой. Так же быстро протекает и переработка, усвоение адсорбированных веществ микроорганизмами. Как показывают подсчеты В. Вернадского [10], кокк объемом в 10^{-12} см³ при благоприятных условиях в течение менее чем полутора суток путем размножения мог бы создать пленку, покрывающую весь земной шар. Эта величина «энергии роста» характеризует собой скорость, с которой органическое вещество может усваиваться указанными простейшими организмами. Несомненно, что для этого последние должны уже обладать хорошо слаженным внутренним физико-химическим аппаратом, который мог появиться только в результате длительного «естественного отбора» наиболее совершенных с указанной точки зрения коллоидных систем.

Положение, что способность усваивать органические вещества заложена в самой основе строения современных живых существ, небезинтересно сопоставить с данными по образованию

так называемых «вторичных» бактериальных культур. Уже Д'Эрелль [11] отмечал, что при воздействии бактериофага на дизентерийную палочку можно полностью растворить (лизировать) культуру так, что в ней совершенно будут отсутствовать видимые бактерии. Но иногда, спустя некоторое более или менее продолжительное время, в растворе появляется муть и начинают обнаруживаться нормальные дизентерийные палочки Шига. Подробно это явление было изучено Ходжуром [12]. Этот автор приходит к заключению, что при действии бактериофага происходит распад, «дезаггрегация» тела бактерий на множество «обломков». Часть этих «обломков» способна проходить через бактериальный фильтр и представляет собой так называемые невидимые формы бактерий. В дальнейшем из этих «обломков» могут вновь образовываться нормальные бактерии (вторичные культуры). Весьма интересно, что эти отдельные «кусочки» бактерий обладают, по видимому, способностью расти в различных органических средах, несмотря на то, что многие биохимические свойства первоначальных культур претерпевают при раздроблении бактерий существенные изменения. Таким образом, и на этом примере мы видим, что способность к усвоению органических соединений заложена в самом основании строения живого вещества.

Конечно, самый химизм усвоения разнообразных органических веществ может вариировать у различных живых существ в довольно широких пределах. В процессе эволюции организмов те внутренние химические механизмы, которые осуществляют это усвоение, могли и должны были многократно изменяться применительно как к внешним, так и внутренним условиям существования. Они постепенно усложнялись все новыми и новыми надстройками. Но, несмотря на это, сравнительное изучение обмена веществ у современных нам живых существ без труда позволяет обнаружить, что и здесь в основе усвоения органических веществ лежат те же главнейшие реакции, которые должны были происходить в первичных организмах с самого начала их возникновения.

Согласно тем представлениям, которые были развиты нами выше, исходным пунктом для образования первичных организмов являлись «самопроизвольно» протекающие в земной гидросфере химические взаимодействия неопредельных углеводов и их простейших производных с окружающими молекулами воды. В процессе последующей эволюции коллоидных образований изменялись скорости отдельных реакций, и происходила их известная увязка во времени. Взаимодействие этих реакций весьма усложнялось и усвершенствовалось. Но в принципе сами по себе эти реакции оставались прежними.

Поэтому и усвоение органических веществ первичными живыми существами могло происходить лишь на этой прежней основе. Если правильно все то, что мы говорили в предыдущих

главах, указанное усвоение должно было характеризоваться следующими тремя важнейшими особенностями. Во-первых, главные реакции, в которые вступали усваиваемые первичными организмами органические вещества, должны были носить экзотермический характер. Они должны были в этом отношении быть подобными тем реакциям, которые «самопроизвольно» совершались в водах первичного океана. Во-вторых, так как в тогдашней земной атмосфере совершенно отсутствовал свободный кислород, изменение органических веществ в первичных организмах могло происходить только на основе их взаимодействия с элементами воды. В частности, на этой основе происходил и процесс окисления органических веществ, тот процесс, который является необходимым звеном в цепи реакций экзотермического синтеза. Наконец, в-третьих, основным источником углеродистого питания для первичных организмов должны были служить соединения лишь с частично гидроксигированными углеродными цепями, сравнительно богатые группами $-\text{CH}_3$ и $-\text{CH}_2-$, а нередко и содержащие в своей молекуле двойные связи между углеродными атомами. Ведь единственным источником органических веществ в то время являлись ненасыщенные углеводороды, получающиеся путем взаимодействия карбидов металлов с водой. При своем гидратировании эти углеводороды давали производные типы ацетальдегида, альдоля и других подобных ему продуктов конденсации. К питанию этими веществами и должны были быть приспособлены первичные организмы.

В настоящее время условия питания современных нам живых существ органическими веществами коренным образом изменились. От тех неопредельных углеводородов, которые когда-то первично возникали на земной поверхности, не осталось и следа. Если сейчас где-либо на Земле и происходит подобное этому возникновение органических соединений, то оно не играет никакой роли в обмене веществ подавляющего большинства современных организмов. Этот обмен в части построения углеродного скелета органических веществ всецело базируется сейчас на тех соединениях, которые образуются при ассимиляции углекислоты зелеными растениями, при фотосинтезе. Как известно, такими соединениями являются углеводы, которые для большинства современных организмов и служат основным источником углеродистого питания. Но для углеводов характерно то обстоятельство, что все атомы их углеродной цепи гидроксигированы. Этим они принципиально отличаются от вышеуказанных соединений типа альдоля.

Возникшая на определенном этапе эволюции живых существ ассимиляция углекислоты не только изменила характер углеродистого питания, но и внесла еще одно коренное изменение в условия существования современных организмов. Именно благодаря процессу фотосинтеза в атмосфере Земли появился свободный кислород, что создало предпосылки для основной

перестройки и рационализации обмена веществ. На этой основе многие современные нам организмы приобрели способность к такого рода изменениям вещества и энергии, которые были совершенно недоступны первичным живым существам.

Но, несмотря на все эти особенности и отличия, внимательное изучение обмена веществ у различных современных нам организмов показывает, что в основе этого обмена лежат те же внутренние «химические механизмы», которыми должны были быть наделены и первичные живые существа. Это обстоятельство можно объяснить, только рассматривая его с эволюционной точки зрения. В современных условиях такие «механизмы» сложиться бы не могли, но они являются наследием прошлого и в ряде случаев отражают в себе те реакции, которые шли еще в первичных растворах органических веществ.

В недавнее время В. Таусон [13] произвел детальные исследования превращения энергии в процессе окисления плесневыми грибами разнообразных питательных веществ, в частности различных органических кислот (малоновой, янтарной, глутаровой, адипиновой, субериновой, азелаиновой, себациновой и винной). При этом он сопоставлял энергетический эквивалент углекислоты, выделяющейся при полном сгорании указанных кислот, с коэффициентами использования энергии и углерода этих кислот плесневыми грибами. Первый из названных коэффициентов представляет отношение количества энергии, запасенной в теле организма при его развитии, к количеству ее, заключавшемуся в потребленных питательных веществах. Второй коэффициент характеризует отношение количества углерода, содержащегося в новообразовавшемся мицелии, к количеству этого элемента, находившемуся в исчезнувшем субстрате.

Если бы дело обстояло так, что синтез органических веществ, идущих на построение разрастающегося мицелия, происходил на основе эндотермических реакций и потребная для этого энергия покрывалась бы за счет энергии, образующейся при сгорании указанных кислот в процессе дыхания, тогда должен был бы существовать известный параллелизм между величинами энергетического эквивалента выделяющейся при дыхании углекислоты и названными выше коэффициентами. Вполне понятно, что в этом случае химическое строение кислоты, используемой для дыхания, не играет существенной роли, и все дело сводится лишь к тому, какое количество энергии может образоваться при ее сгорании, т. е. к энергетическому эквиваленту. Точно так же и между указанными выше коэффициентами использования энергии и углерода неизбежно должен был бы существовать строгий параллелизм в том случае, если бы синтетические процессы носили эндотермический характер.

Однако непосредственные экспериментальные данные обнаруживают полное отсутствие какой-либо зависимости между указанными величинами. На основании этого Таусон высказал со-

мнение в эндотермическом характере протекающих в живых клетках синтетических процессов. На ряду с этим он построил схемы тех цепей экзотермических реакций, в результате которых происходит превращение всех перечисленных выше кислот в вещества тела гриба. Эти схемы позволяют свести балансы энергии и углерода и теоретически вычислить «истинные» коэффициенты использования энергии и углерода этих кислот гетеротрофными организмами. Вычисленные таким образом коэффициенты во всех случаях оказались чрезвычайно близкими соответствующим коэффициентам, найденным экспериментально. Это делает весьма вероятным защищаемое автором положение, что и в современных живых существах, если не все, то очень многие реакции синтеза протекают так же «самопроизвольно», как это имело место в первичном растворе органических веществ. Следовательно в основе обмена веществ у современных организмов заложены именно те формы организации, которые они заимствовали от первичных живых существ.

Приводимые Таусоном схемы экзотермических синтезов в принципе сходны с указанной нами выше цепью реакций, в результате которых молочная кислота превращается в глюкозу. Одним из основных моментов здесь является окисление используемых для синтеза веществ поглощаемым при дыхании кислородом. Окисленный участок молекул отщепляется затем в виде углекислоты в процессе декарбоксилирования, и таким образом происходит накопление восстановленных углеродных атомов (метильных и метиленовых групп). В частности, таким путем образуется ацетальдегид и его ближайшие производные. Из этих веществ в результате их альдольной конденсации и возникают углеродные скелеты, лежащие в основе синтезируемых в клетке соединений (жиров, аминокислот и т. д.).

Таким образом, одним из существенных пунктов в вышеуказанных схемах экзотермических реакций является процесс окисления органических веществ кислородом воздуха. С первого взгляда кажется, что здесь мы встречаемся с коренным отличием описанного обмена и обмена веществ у первичных живых существ. Ведь, как мы указывали выше, у этих последних такого рода процесс не мог иметь места вследствие отсутствия свободного кислорода в тогдашней атмосфере Земли. Но внимательное рассмотрение вопроса показывает, что это противоречие является кажущимся, и в основе окислительных процессов у современных организмов лежит тот же химический механизм, которым должны были быть наделены и первичные живые существа.

Дело в том, что непосредственное окисление органических веществ молекулярным кислородом дано в схемах Таусона для упрощения. В живых организмах такого окисления углеводов и других дыхательных материалов на самом деле никогда не происходит, а всегда имеет место лишь их окисление за счет

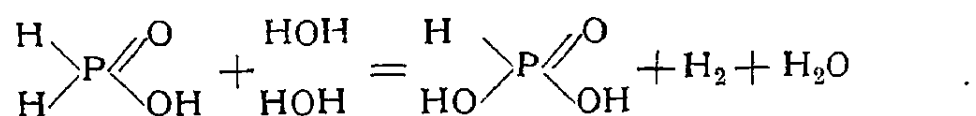
связанного кислорода воды, т. е. именно тем способом, который являлся единственно доступным для первичных живых существ.

Уже давно было осознано, что аналогия между дыханием и горением (которая была указана еще Лавуазье) носит весьма приближенный характер. При обычной температуре органические вещества не могут сгорать, непосредственно окисляться до углекислоты и воды кислородом воздуха как вне, так и внутри живых организмов. Здесь имеет место лишь так называемое гидролитическое окисление, идущее за счет связанного кислорода воды.

Чтобы понять это явление, мы должны ознакомиться с тем положением, которое еще в конце прошлого века было развито М. Траубе [14]. Этот автор исходил из экспериментально обоснованного положения, что в отсутствии воды вообще никакой окислительный процесс за счет свободного кислорода воздуха идти не может. Так, например, в совершенно сухом кислороде металлический натрий сохраняет свой блеск, т. е. здесь не происходит окисления этого чрезвычайно легко окисляемого металла. Пламя окиси углерода немедленно потухает, если внести его в атмосферу кислорода, вполне лишенную водяных паров. Это привело Траубе к убеждению, что окисляемые вещества в первую очередь окисляются не свободным газообразным кислородом воздуха, а связанным кислородом воды.

Простейшим случаем гидролитического окисления является разложение воды щелочными металлами, т. е. окисление их за счет гидроксильной группы воды с выделением соответствующего количества водорода: $\text{Na}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2$.

Соображения термодинамического порядка показывают нам, что разлагать воду с выделением газообразного водорода могут только тела, обладающие сравнительно большим запасом свободной энергии, выражающейся в сильном сродстве к гидроксильной группе воды. Такие случаи сравнительно редки. Гораздо более часты случаи разложения воды совместным действием двух тел, из которых одно окисляется гидроксильной группой воды, а другое поглощает, акцептирует водород. Это можно пояснить на примере реакции, впервые описанной Энгелем [15] и затем подробно изученной А. Бахом [16]. Фосфорноватистокислые соли сами по себе не разлагают воду с измеримой скоростью. Но если в водный раствор указанной соли внести небольшое количество палладия в виде палладиевой черни — немедленно фосфорноватистая кислота начнет окисляться в фосфористую, и вместе с тем на палладии будет выделяться свободный водород:



Схематически эту реакцию можно объяснить следующим образом. Как известно, вода в очень небольшой своей части распадается на гидроксил- и водород-ионы. Гидроксил является

весьма мощным и универсальным окислителем, в частности, он легко окисляет фосфорноватистую кислоту. Но если из раствора будет исчезать только один гидроксил, то дальнейшего разложения воды не будет происходить. Реакция окисления остановится в самом начале. Иначе обстоит дело, когда одновременно удаляются и гидроксилы и водороды воды: тогда нарушается равновесие между ними и неразложенными частицами воды. Вследствие этого реакция может идти все дальше и дальше. Таким образом, окисление фосфорноватистой кислоты за счет гидроксила воды будет идти гладко только в том случае, когда тем или другим способом мы удаляем водород воды. В описанном нами случае это осуществляется палладиевой чернью. При дыхательном процессе вся роль поглощаемого организмами свободного кислорода именно и сводится только к подобного же рода удалению водорода воды. Самое же непосредственное окисление органических веществ происходит точно так же, как и в вышеприведенной реакции, на счет освобождающихся гидроксидов, гидролитическим путем.

Многочисленные исследования последних лет с несомненностью показывают, что во всех без исключения как высших, так и низших организмах непосредственное окисление органических веществ происходит только вышеописанным гидролитическим путем [17]. В основе его лежит неоднократно уже упоминавшаяся нами окислительно-восстановительная реакция Канинциаро. Все различие сводится к методам акцептирования, удаления водорода. Высшие способные к дыханию организмы осуществляют это удаление при помощи свободного кислорода. Это сделалось возможным благодаря тому, что в них в процессе эволюции возник новый добавочный химический механизм, который, так сказать, наложился на более древний механизм обмена, в значительной степени его усовершенствовал. Но в основе всего процесса окисления органических веществ здесь по-прежнему остался этот древний механизм, и мы легко его можем обнаружить при изучении химизма дыхания.

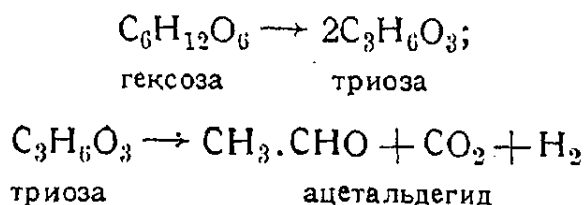
В ряде более примитивных низших организмов указанная выше добавочная надстройка еще совсем не имеет места, и весь механизм гидролитического окисления сохранился здесь в первоначальном виде. Эти организмы способны только к анаэробному обмену веществ, и в них удаление водорода воды осуществляется иными методами. В частности, в весьма примитивном маслянокислом брожении мы имеем даже непосредственное выделение водорода в виде молекулярного газа.

По ряду признаков маслянокислое брожение является одним из наиболее древних брожений, но и сейчас в природных условиях оно осуществляется в колоссальных масштабах. «Нет такого ила, лишенного доступа кислорода, — пишет С. Костычев [18], — нет такого болота и заболоченной почвы, где бы не было маслянокислого брожения. Именно в этом процессе разлагает-

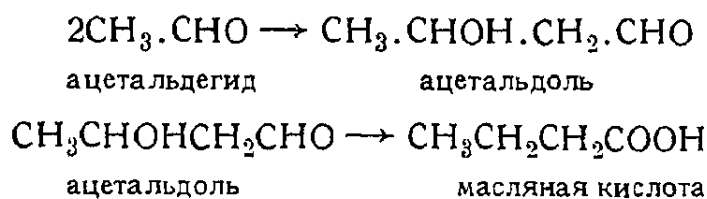
ся главная масса органических веществ там, где невозможны окислительные акты».

Химизм маслянокислого брожения [19] изучен еще сравнительно плохо вследствие того, что этот процесс является очень запутанным и непостоянным. Как мы уже отмечали в предыдущей главе, здесь еще не выработались определенные пути химических превращений, здесь еще нет полной согласованности между скоростями отдельных реакций, и поэтому каждый промежуточный продукт испытывает превращения в ряде направлений, давая большое количество побочных веществ обмена. Более или менее определенно можно наметить лишь следующую главную цепь реакций маслянокислого брожения.

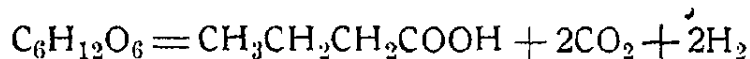
Прежде всего, в результате ряда превращений молекула сахара (гексозы) распадается на две молекулы триозы, затем из триозы образуются одна молекула ацетальдегида, одна молекула углекислоты и одна молекула водорода:



Как триоза, так и ацетальдегид могут подвергаться различным дальнейшим превращениям, но все же в основном ацетальдегид в результате альдольного уплотнения превращается далее в ацетальдоль, а этот последний, подвергаясь окислительно-восстановительной реакции, идущей за счет элементов воды, превращается в масляную кислоту, являющуюся основным продуктом брожения:



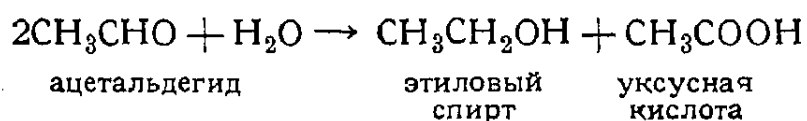
Таким образом, суммарная реакция маслянокислого брожения выражается следующим уравнением:



Особое внимание здесь нужно обратить на выделение свободного молекулярного водорода, оно характеризует собой примитивность этого вида энергетического обмена. При других брожениях водород воды, освобождающийся при окислении органических веществ гидроксилом, сейчас же используется для восстановительных процессов, идущих при синтезе протоплазмальных веществ, и для восстановления промежуточных продуктов распада. Организация бактерий маслянокислого брожения является настолько примитивной, что в ней еще отсутствует мощный ферментативный аппарат, который позволял бы быстро

осуществлять всякого рода восстановительные процессы. Поэтому здесь значительное число атомов водорода успевает соединиться в молекулы и выделяться из бактерий в газообразном виде. Это чрезвычайно невыгодно с точки зрения общего энергетического хозяйства клетки. В силу этого при маслянокислом брожении коэффициент использования живыми организмами той энергии, которая образуется при этом процессе, всегда очень низок.

Однако уже и в маслянокислых бактериях мы находим иную форму улавливания водорода. Частично и здесь водород используется для восстановления промежуточных продуктов в реакции Канниццаро. Примером такой реакции, идущей между частями одной и той же молекулы («внутреннее канниццаро»), может служить уже упоминавшееся нами превращение ацетальдоля в масляную кислоту. Такого же рода окислительно-восстановительному изменению в процессе масляно-кислого брожения подвергается и некоторое количество триозы, причем образуется молочная кислота. Ацетальдегид в известной своей части тоже претерпевает реакцию Канниццаро. Но здесь в окислительно-восстановительном процессе участвуют две молекулы, одна из них окисляется гидроксилом воды в уксусную кислоту, а другая восстанавливается водородом в винный спирт, согласно уравнению:



Таким образом, мы видим, что в бактериях, способных к маслянокислому брожению, заложены возможности к возникновению довольно большого числа различных конечных продуктов. Здесь в еще не отрегулированном состоянии находятся физико-химические механизмы всех тех брожений, которые позднее сложились уже в более совершенные формы. В частности, мы устанавливаем здесь реакции, которые лежат в основе и спиртового, и молочнокислого, и уксуснокислого брожения. Но здесь эти реакции являются только побочными ответвлениями главного процесса. В процессе эволюции происходит упорядочение соотношений между реакциями и закрепляются определенные пути энергетического обмена. Таким образом, из хаоса маслянокислого брожения рождаются более стройные и более совершенные процессы, как, например, спиртовое и молочнокислое брожения.

Мы не будем подробно рассматривать здесь химизм этих брожений, — это было уже сделано выше. Нужно только указать, что как то, так и другое брожение являются анаэробными, и происходящее в них окисление органических веществ совершается на счет гидроксильной группы воды, тогда как водород идет на восстановление промежуточных продуктов и используется для

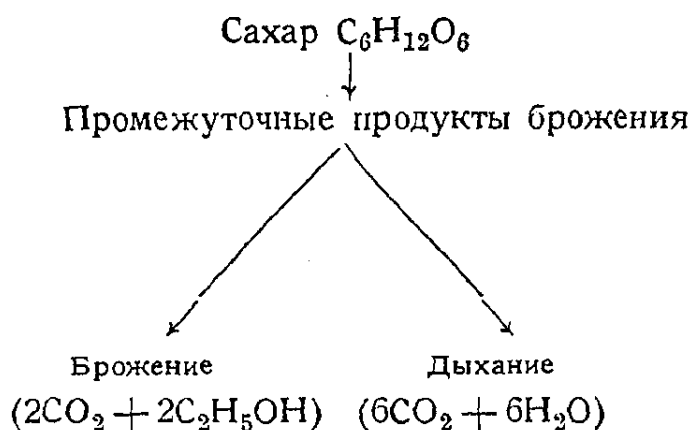
восстановительных процессов синтеза протоплазменных веществ. Благодаря большой слаженности этих процессов коэффициент использования энергии является здесь значительно более высоким, чем при маслянокислом брожении.

Изучение деталей химизма всех описанных выше типов брожения до известной степени позволяет нам нарисовать картину последовательной эволюции внутренней химической организации у простейших живых существ. Первые стадии превращения во всех указанных брожениях являются примерно одинаковыми. Всюду имеется образование триозы и последующее ее окисление гидроксилом воды. Но судьба освобождающегося при этом водорода различна. Она зависит от соотношения скоростей, реакции восстановления и других одновременно идущих реакций. При маслянокислом брожении восстановительные процессы протекают чрезвычайно медленно. Карбонильные группы ацетальдегида, которые могли бы присоединить к себе водород, с гораздо большей скоростью исчезают в процессе альдольной конденсации при образовании масляной кислоты. Атомы водорода соединяются между собой в молекулу и выделяются в виде элементарного газа. В молочнокислых бактериях восстановительный аппарат уже находится на значительной высоте; поэтому здесь водород уже не может выделяться в молекулярном виде, он быстро акцептируется пировиноградной кислотой, которая при этом восстанавливается в молочную кислоту. В дрожжах восстановительные реакции точно так же могут протекать с очень большой скоростью, но здесь они строго координированы с действием карбоксилазы — фермента, отсутствующего в молочнокислых бактериях. Этот фермент расщепляет пировиноградную кислоту на углекислоту и ацетальдегид, и только этот последний подвергается восстановлению водородом воды.

Таким образом, процессы и молочнокислого и спиртового брожения возникли как результат урегулирования определенных частей маслянокислого брожения. Вместе с тем они явились теми двумя типами брожений, которые перешли и к более высоко организованным живым существам; в частности, именно эти брожения лежат в основе энергетического обмена у всех современных нам высших животных и растений, наделенных уже способностью к дыханию.

Еще Э. Пфлюгер [20], впервые открывший так называемое анаэробное дыхание у высших животных, высказал мысль, что этот процесс не является патологическим и что он не представляет собой мелкого биологического приспособления только для переживания короткого периода, когда организм лишен кислорода. По мнению Пфлюгера, способность анаэробно разлагать углеводы лежит в основе всего нормального дыхательного процесса. Несколько позднее аналогичное положение было установлено В. Пфеффером [21] для высших растений. Он показал, что растения, лишенные атмосферного кислорода, приобретают способ-

ность к так называемому интрамолекулярному дыханию, которое по своему химизму совершенно сходно со спиртовым брожением. Более поздние исследования В. Палладина и в особенности С. Костычева [22] показали, что в громадном большинстве случаев и при нормальном дыхании дело начинается с анаэробного распада углеводов. Но при доступе воздуха промежуточные продукты спиртового брожения в результате воздействия специальных оксидазных механизмов окисляются до углекислоты и воды. Если же искусственно устранить свободный кислород, то процесс нормально приводит к образованию винного спирта и углекислоты. С. Костычев [23] дает следующую схему, иллюстрирующую соотношение указанных процессов:



Точно так же и детальное исследование химизма дыхания высших животных, произведенное главным образом О. Мейергофом [24], Г. Эмбденом [25] и И. Парнасом [26], показало, что в основе этого процесса лежит анаэробное, молочнокислое брожение. Все первичные стадии мышечного дыхания совпадают с первичными стадиями указанного вида брожения, и только в дальнейшем на них налагается окисление свободным кислородом воздуха.

Итак, первично энергетический обмен всех живых существ носил анаэробный характер, был основан лишь на взаимодействии органических веществ с молекулами воды. Поэтому, подобно тому, как при наличии автотрофного питания, мы можем вернуть организм к старому сапрофитному образу жизни, так и при дыхании до известной степени мы можем устранить аэробную стадию и заставить высший организм на некоторое время вернуться к более древнему, первичному способу разложения органических веществ. На ряду с этим мы знаем обширные группы простейших организмов, которые стоят на более низкой ступени развития и поэтому в процессе эволюции не приобрели еще приспособления к кислородному дыханию. В силу этого они и в настоящее время при наличии свободного кислорода осуществляют свой энергетический обмен более древними, менее совершенными методами.

Как мы указывали выше, впервые возникшие на земной поверхности живые существа могли использовать для своего

углеродистого питания только производные тех неопредельных углеводов, которые образовались при взаимодействии карбидов с водяным паром. В частности, особенно большое значение в этом отношении должны были иметь ацетальдегид, альдоль и другие подобные производные, молекулы которых сравнительно богаты группами — CH_2 —, — CH_3 и т. д. Значительное количество углеводородных групп мы находим и в тех соединениях, которые играют основную ведущую роль в построении современной протоплазмы — в белках и в липоидах. В этом отношении указанные соединения гораздо ближе подходят к производным ацетальдегида, чем к углеводам (из которых они образуются в настоящее время фактически), так как у этих последних все углеродные атомы являются гидроксильными. Невольно напрашивается мысль, что в этом строении белков и липоидов отражается их начальное происхождение от первичных производных неопредельных углеводов, что химический состав живого вещества должен был сложиться задолго до того, как в результате фотосинтеза стали возникать на земной поверхности громадные количества углеводов.

Как бы то ни было, во всяком случае современные живые существа для построения веществ своей протоплазмы принуждены осуществлять частичное восстановление углеводов, реакцию, которая для первичных организмов, питавшихся производными ацетальдегида, была совершенно лишней. Эта реакция сводится к восстановлению одного из гидроксильных атомов углеродной цепи при одновременном окислении другого ее атома («внутреннее канницаро»).

Современный период жизни нужно рассматривать как эпоху углеводного питания. Сейчас фотосинтезу принадлежит почти исключительная монополия первоначального образования органических веществ. Но в результате указанного процесса прежде всего возникают углеводы, которые и являются основным источником углеродистого питания для подавляющего большинства современных организмов. Поэтому указанная выше реакция («внутреннее канницаро») присуща почти всем современным живым существам. Даже наиболее примитивные бактерии маслянокислого брожения, как мы видели выше, наделены этой способностью, так как в противном случае они не могли бы использовать те запасы углеводов, которые служат исходным материалом для указанного брожения в настоящее время.

Тем более интересным является факт обнаружения таких организмов, которые даже сейчас, в эпоху монополии углеводного питания, совершенно не способны усваивать глюкозу или какой-либо другой сахар и в качестве единственного источника углерода используют такие циклические и полициклические углеводороды, как, например, бензол, толуол, фенантрен, аценафтен и их ближайшие производные (фенол, салициловую кислоту и т. д.). Эти так называемые «циклисты» за последнее

время особенно детально были исследованы В. Таусоном [27], который выделял их из почв нефтеносных районов, содержащих значительное количество различных бактерий, способных разлагать как нефть, так и ее отдельные фракции — керосин, мазут, смазочные масла и т. д. Содержащиеся в этих смесях углеводороды используются указанными бактериями в качестве единственного источника углерода и энергии.

На основании изучения обмена веществ у этих бактерий Таусон [28] приходит к заключению, что неспособность «циклистов» питаться глюкозой, фруктозой, маннитом, глицерином, винной кислотой и другими подобными соединениями, которые являются прекрасным питательным материалом для громадного большинства современных микроорганизмов, связана с отсутствием у них способности производить превращения первично спиртовой группы в метильную через посредство внутримолекулярной реакции Канниццаро. Таким образом, эти бактерии не могут образовывать ацетальдегид из углеводов и других подобных соединений, что лишает их возможности синтезировать жирные кислоты и углеродные скелеты аминокислот. Для этого они используют другой путь разрыва бензольного ядра циклических соединений, причем получаются лишь частично гидроксилированные углеродные цепи, которые в дальнейшем служат материалом для построения протоплазмальных белков и липоидов. Таусон высказывает мысль, что нитрофицирующие бактерии потому лишены способности развиваться за счет углеводов и подобных им веществ, что и они не обладают еще теми внутренними химическими механизмами, которые необходимы для внутримолекулярной реакции Канниццаро.

Итак, внутримолекулярная реакция Канниццаро, способность к которой, согласно нашим предположениям, должна была возникнуть лишь на сравнительно поздних этапах эволюции в связи с возникновением углеводного питания, не является неотъемлемой принадлежностью всякого живого вещества. Она представляет собой только обходный путь для построения протоплазмальных белков и липоидов из углеводов. Поэтому она отсутствует у «циклистов», питающихся углеводородами и их ближайшими производными и в связи с этим сохранившим и более древнюю в разбираемом отношении форму обмена веществ.

Но использование в качестве углеродистого питания лишь частично гидроксилированных соединений особенно остро ставит вопрос об удалении водорода, образующегося при гидролитическом окислении органических веществ. Большинство современных «циклистов» и других организмов, использующих углеводороды в качестве источников питания, приспособились к существующим аэробным условиям и выработали в себе мощные окислительные системы, позволяющие им удалять освобождающийся водород в процессе дыхания за счет свободного кислорода воздуха. Но первичные живые существа были

лишены этой возможности. Здесь, повидимому, имели место иные методы удаления водорода. В частности, можно думать, что и весьма нерациональное в энергетическом отношении образование свободного водорода в маслянокислом брожении является наследием этого отдаленного прошлого, когда организмы любой ценой должны были освобождаться от образующегося в процессе гидролитического окисления водорода воды.

В качестве примера другого доступного первичным живым существам способа удаления водорода может служить обмен веществ у различных видов *Microspira*, исследованный Таусоном [29] в связи с процессом восстановления сульфатов и окисления залегающих в глубоких слоях земной коры битуминозных веществ. Таусон показал, что при воздействии этих бактерий твердый парафин медленно разлагается в анаэробных условиях при одновременном восстановлении сульфатов и образовании сероводородов. Здесь происходит окисление парафина гидроксилами воды, а освобождающийся при этом водород удаляется в процессе восстановления сульфатов. Дальнейшие опыты [30] показали, что не только парафин, но и некоторые полициклические ароматические углеводороды, например нафталин или фенантрен, могут служить единственными источниками углерода и энергии в анаэробных условиях для десульфурствующих бактерий. При этом происходит постепенное разложение указанных веществ и параллельно идущее образование сероводородов. Таким образом, указанные микроорганизмы используют для удаления освобождающегося водорода окисленные неорганические вещества, в данном случае сульфат. Этот же путь могли использовать и первичные живые существа, жившие в отсутствии свободного кислорода и употреблявшие для своих синтезов простейшие производные углеводородов.

Наконец, обилие двойных связей в тех производных непредельных углеводородов, которые являлись источником питания для первичных живых существ, создавало для них еще одну возможность для удаления освобождающегося водорода путем непосредственного гидрирования этих связей. В современную эпоху существования Земли биологическое гидрирование ненасыщенных углеводородов, повидимому, не происходит. Об этом свидетельствует тот установленный Э. Ледерером [31] факт, что в современных и полуископаемых озерных илах, где, несомненно, создавались и создаются очень восстановительные условия, каротиноиды отмерших растений остаются не гидрированными. На это вполне определенно указывают их характерные спектры поглощения, обусловленные наличием в молекулах этих соединений двойных связей. Однако Таусон [32], на основании углубленного исследования вопроса об образовании нефти, высказал положение, что такой способностью гидрировать ненасыщенные углеводороды должны были обладать вымершие организмы и что эта способность была лишь утрачена

впоследствии, в процессе эволюции, в связи с переходом к углеводному питанию.

Итак, углубленное сравнительное изучение обмена веществ у современных нам организмов показывает, что хотя в настоящее время условия существования иные, чем были в эпоху возникновения первичных живых существ, тем не менее в основе построения живого вещества и теперь лежат те же химические механизмы, которые были присущи этим живым существам. Характерные особенности химического строения основных составляющих протоплазму веществ, экзотермичность процессов синтеза, анаэробная основа энергетического обмена — все это наследие прошлого, которое перешло к современным организмам от их отдаленных предков, все это отражает в себе те условия, которые имели место на земной поверхности при первичном формировании простейших живых существ. В процессе дальнейшей эволюции создавались новые добавочные механизмы, новые «надстройки», но основа организации живого вещества оставалась прежней, и ее изучение позволяет нам судить о путях возникновения этой формы существования материи.

Основным, а может быть, и единственным источником органического питания для первичных живых существ являлись возникшие на земной поверхности углеводороды и их ближайшие производные. Запас этих веществ если до известной степени и пополнялся, то, во всяком случае, лишь в очень ограниченном размере. Между тем, разрастание и размножение живых организмов все более и более увеличивало расход органических веществ. Частично они входили в состав протоплазмы, но еще в большем количестве разлагались, обесценивались в процессе различных брожений. Таким образом, запас органических веществ, способных служить материалом для питания первичных организмов, должен был все время уменьшаться. Это чрезвычайно обостряло борьбу за существование и явилось мощным фактором для дальнейшей эволюции первичных организмов, для дальнейшего усовершенствования и усложнения их внутренней химической организации. Но если бы эволюция живых существ все время шла лишь по пути гетеротрофного питания, то рано или поздно указанный процесс должен был бы притти к своему естественному концу, к полному уничтожению органического питательного материала и гибели всех живых существ. Это не случилось только потому, что некоторые из микроорганизмов благодаря приобретенной ими окраске получили возможность использовать световую энергию.

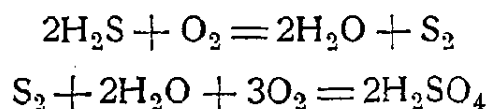
Интересным примером таких организмов, способных использовать световую энергию, являются открытые Х. Эренбергом пурпурные бактерии и найденные С. Виноградским в водоемах, богатых не вполне окисленными сернистыми соединениями, зеленые бактерии. Среди многочисленных микроорганизмов, произ-

водящих цветные вещества в качестве продуктов жизнедеятельности, группа пурпурных и зеленых бактерий представляет ту характерную особенность, что их пигменты связаны непосредственно с протоплазмой и что по своим оптическим и химическим свойствам они близко стоят к каротиноидам и хлорофиллинам зеленых растений.

Так, согласно исследованиям В. Любименко [33], красные пигменты пурпурных бактерий, известные под сборным названием «бактериопурпурина», являются веществами, близкими к каротиноидам из группы ликопина. Кроме того, пурпурные бактерии всегда содержат еще зеленый пигмент, названный «бактериохлорином». Хотя он оптически и химически отличается от хлорофилла, но при окислении дает модификацию, оптически сходную с этим пигментом высших растений. Еще ближе к пигментной системе хлорофиллоносных растений стоят пигменты зеленых бактерий.

Некоторые из видов пурпурных бактерий были исследованы Г. Молишем [34] в чистых культурах, причем он нашел, что они не способны развиваться на минеральных средах и вообще являются типичными сапрофитами. Свет для них не является абсолютно необходимым, но он каким-то ближе не исследованным способом значительно облегчает этим бактериям усвоение органических веществ. Повидимому, при этом происходит некоторое увеличение коэффициента использования этих веществ для синтеза соединений, входящих в состав протоплазмы.

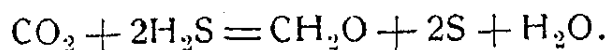
Интересные исследования над пурпурными серобактериями были осуществлены ван-Нилем [35]. Указанные бактерии могут использовать сероводород в качестве энергетического материала. При помощи кислорода воздуха они окисляют его до серы и даже до серной кислоты согласно уравнению



Но опыты ван-Нилля показали, что эти бактерии на свету могут окислять сероводород и при полном отсутствии свободного кислорода. Следовательно, при наличии фотохимических процессов эти организмы могут использовать для осуществляемых ими окислительных реакций связанный кислород воды, в то время как водород воды может пойти на ряд восстановительных процессов.

В частности, таким путем может происходить процесс восстановления углекислоты, углерод которой указанные бактерии используют для построения органических веществ. Таким образом, здесь имеется некоторый шаг в сторону фотосинтеза. Более подробно процесс фотохимической ассимиляции углекислоты пурпурными серобактериями был исследован И. Эй-

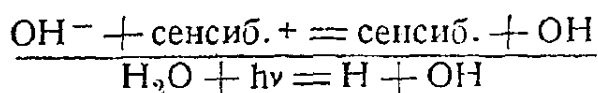
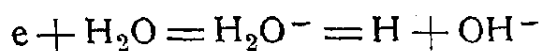
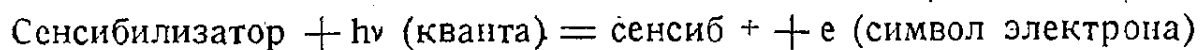
мерс и Е. Вассинк [36]. Суммарно эта реакция может быть выражена формулой



Но на самом деле она является гораздо более сложным процессом. Повидимому, основной фотохимической реакцией здесь является фотолиз воды — разложение молекулы воды на гидроксил и водород. Первый идет на окисление сероводорода, а второй используется на восстановление углекислоты.

Мне представляется весьма вероятным, что первичное использование света окрашенными организмами лежало не в плоскости собственно фотосинтеза, а именно сводилось к фотолизу воды, что в значительной степени «рационализировало» процессы гетеротрофного питания органическими веществами при полном отсутствии свободного кислорода.

Давно уже известно, что под действием ультрафиолетовых лучей происходит разложение воды. Как показали позднейшие исследования ряда фотохимиков, например Ф. Вейгерта [37], такое же разложение можно получить и при помощи лучей видимого света в случае применения надлежащих сенсibilизаторов. Таким образом, здесь лучистая энергия может быть использована для разложения воды подобно тому, как при электролизе для этой цели используется электрическая энергия. Вейгерт дает следующую схему фотохимической реакции разложения воды:

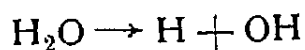


Микроорганизмы, приобретшие путем образования пигментов-сенсibilизаторов способность к такого рода фотохимическим реакциям разложения воды, получили громадные преимущества в деле более «рационального» использования тех органических веществ, которые служили для них источником питания. Ведь, как мы уже неоднократно говорили, в процессах различного рода брожения окисление органических веществ осуществляется за счет гидроксила воды. Но для этого необходимо освобождение гидроксила, разложение молекулы воды. Это достигается путем совместного действия окисляемого тела и акцептора водорода подобно тому, как это мы видели в реакции Баха при окислении фосфорноватистой кислоты в фосфористую в присутствии палладиевой черни (см. стр. 235). При этом значительное количество химической энергии, образуемой при окислении органических веществ, уходит именно на этот процесс разложения воды. В силу этого коэффициент использо-

вания питательного материала является весьма невысоким. При фотолизе воды это разложение достигается за счет притекающей извне энергии солнечного луча, и поэтому здесь коэффициент использования органических веществ может быть увеличен во много раз. Именно к этому и сводится значение света для способных только к органическому питанию пурпурных бактерий Молиша.

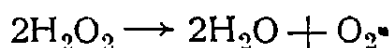
Можно предполагать, что и первые наделенные пигментом организмы использовали свет в качестве вспомогательного средства для более совершенной утилизации органических веществ, и только позднее на этой базе развилась их способность к фотохимической ассимиляции углекислоты. На это указывает то обстоятельство, что, согласно данным ряда исследователей, именно фотолиз воды является первичным процессом фотосинтеза.

Указанная мысль впервые была высказана уже в конце прошлого века А. Бахом [38], который стремился ее обосновать своими опытами над фотохимическим восстановлением углекислоты в присутствии солей урана. Значительно позднее О. Варбург [39], в результате применения теории квант к процессу фотосинтеза, пришел к выводу, что углекислота не может непосредственно разлагаться под действием солнечного луча и что поэтому превращение ее в формальдегид является вторичным чисто химическим процессом. Эта гипотеза затем была развита Т. Тунбергом [40], который указывал, что первичным актом ассимиляции углекислоты является разложение воды под действием света. Впоследствии это положение неоднократно подвергалось критике, но все же и данные последних лет говорят в пользу первичного фотолиза воды в процессе фотосинтеза. Здесь можно указать на данные Р. Вюрмзера [41], согласно теории которого CO_2 совершенно не входит в первичную фотохимическую реакцию. При помощи хлорофилла как сенсibilизатора некоторое вещество А при затрате световой энергии повышает свой энергетический уровень до A^1 . Это вещество A^1 выходит из зерен хлорофилла в строму хлоропластов и здесь встречается с углекислотой, которую оно восстанавливает в сопряженной реакции. Вюрмзер полагает, что эта реакция превращения А в A^1 представляет собой первичное фотохимическое разложение воды. Расщепление воды при поглощении световой энергии предполагает и А. Штолль [42], развивший на основании своих обширных исследований новую теорию фотосинтеза. По этой теории, нужный для восстановления углекислоты водород получается при гидратировании хлорофилла и последующем фотолизе этой гидратной воды:



Активированный таким образом водород действует уже далее на связанную с молекулой хлорофилла углекислоту, а первично

образовавшийся гидроксил превращается в перекись водорода (H_2O_2). Из последней при помощи фермента каталазы образуется кислород:



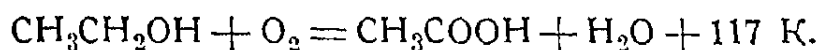
Позднее К. Шибата и Е. Якуши [43] развили эту мысль Штолля о фотолизе воды. Указанные авторы допускают, что молекула хлорофилла связывает четыре молекулы H_2O . Каждый из четырех квантов световой энергии, поглощаемой при фотосинтезе, фотолизирует одну молекулу воды. Образующиеся при этом водородные атомы идут на восстановление H_2CO_3 , а гидроксилы дают перекись водорода, которая разлагается в темновой реакции с образованием кислорода.

Такого же рода образование свободного кислорода должно было иметь место и при фотохимических реакциях первичных пигментированных организмов, питавшихся еще органическими веществами и не способных к ассимиляции углекислоты. Но освобождение молекулярного кислорода сыграло выдающуюся биологическую роль. Появление этого газа сразу нарушило химическое равновесие, начавшее возникать на земной поверхности.

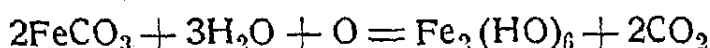
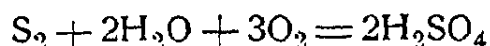
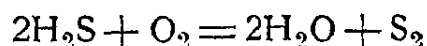
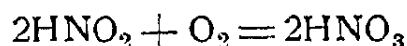
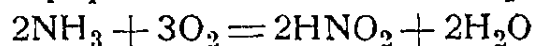
Представим себе ту обстановку, которая создалась к описываемому нами времени. Органические вещества, способные служить материалом для анаэробного обмена, в значительной степени уже исчерпаны. В атмосфере в изобилии находятся углекислый газ, водород, метан и другие газообразные продукты брожения. Такие же продукты, как, например, этиловый спирт, органические кислоты, а также карбонаты растворены в воде морей и океанов. Здесь находится и ряд восстановленных неорганических соединений, в частности, еще сохранившийся первичный аммиак в виде аммонийных солей, закисное железо в виде карбоната и, наконец, сероводород.

Все эти вещества в отсутствии свободного кислорода являлись совершенно недоступными для тогдашних живых существ. Но при появлении кислорода создалась полная возможность использовать их в качестве энергетического материала. В первую очередь на этой базе должны были возникнуть в процессе эволюции организмы, наделенные способностью ко всякого рода окислительным брожениям, например к уксуснокислому брожению. Основной физико-химический механизм, необходимый для осуществления этих процессов, в своем упрощенном виде был присущ уже организмам, способным к маслянокислому брожению. Мы уже там наблюдали образование уксусной кислоты, и весь вопрос свелся лишь к созданию некоторой надстройки, позволяющей окислять образующийся водород при помощи молекулярного кислорода. Возникновение такого добавочного механизма резко повысило коэффициент использования органических веществ для биохимических синтезов. Вместе с тем это позволило в значительной степени расширить круг веществ, могущих

служить материалом для энергетического обмена. Так, например, в том же уксуснокислом брожении может быть использован этиловый спирт, являвшийся ранее совершенно не утилизируемым отходом спиртового брожения [44].



Но и такие отходы первичного брожения присутствовали на земной поверхности в ограниченном количестве, и поэтому в свете резкого недостатка органического питания вполне понятен частичный поворот эволюции живых организмов в направлении использования в качестве энергетического материала неорганических соединений: аммиака, сероводорода и закиси железа. Возникновение нитрофицирующих бактерий, серобактерий, железобактерий нужно приурочить именно к этому периоду существования Земли, так как все эти процессы требуют для своего осуществления молекулярного кислорода, которого раньше не было в атмосфере нашей планеты [45].



То же самое с известной долей вероятия можно сказать и о возникновении бактерий, окисляющих водород, метан и окись углерода.

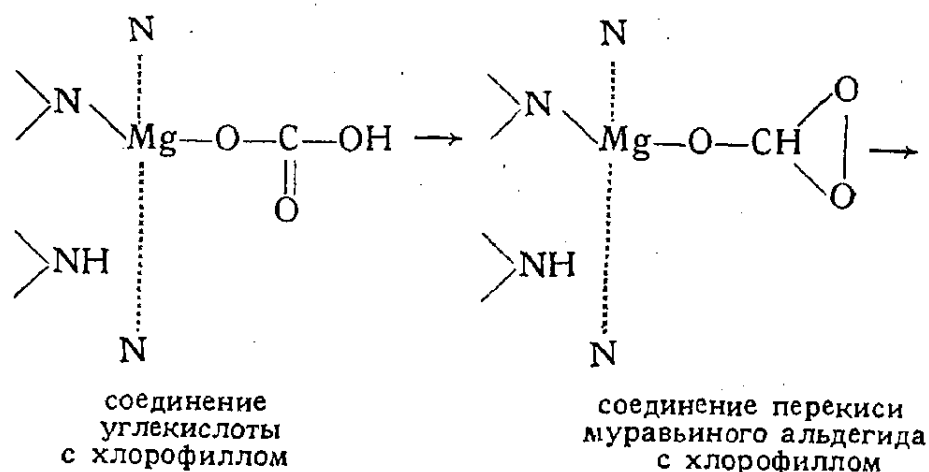
Пышному развитию всех этих чрезвычайно специализированных по своему энергетическому обмену организмов способствовали специфические условия разбираемого нами периода, в первую очередь недостаток органического питания и большой запас неорганических источников энергии. Однако этот период не мог быть продолжительным. Прежде всего запас неорганических источников энергии не мог быть безграничным и поэтому он по мере развития автотрофных организмов, способных к химиосинтезу, постепенно истощался. Его пополнение из глуболежащих слоев земной оболочки могло происходить лишь сравнительно очень медленно. На ряду с этим запас органических питательных веществ должен был, напротив, постепенно увеличиваться вследствие возникновения и быстрого развития процесса ассимиляции углекислоты.

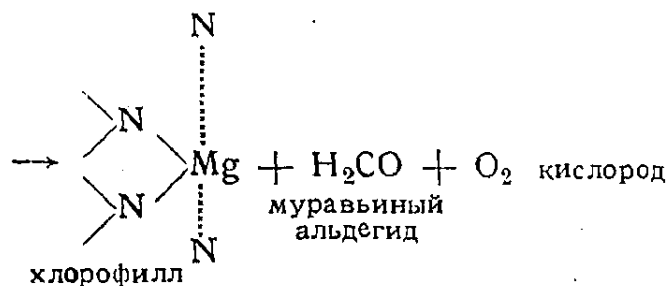
Как мы видели, появление пигментов у первичных организмов, позволявших им осуществлять фотолиз воды, в первоначальном своем виде не имело прямого отношения к ассимиляции углекислоты в том смысле, как мы ее понимаем теперь. Но способность использовать световую энергию для более рациональной утилизации органических веществ создавала громадное преимущество для дальнейшего более быстрого роста и развития организмов, наделенных пигментами. Эта способность вы-

двинула их на первое место в отношении всего остального населения Земли.

При разложении воды лучистой энергией образуется, как мы видели, активный водород, который может быть использован не только для восстановительных процессов, связанных с синтезом живого вещества, но и для ряда других восстановительных реакций. Таким образом, фотолиз уже сам по себе создавал некоторые предпосылки для возможности восстановления углекислоты. На примере пурпурных серобактерий мы видим, что эта возможность, действительно, была использована и используется сейчас указанными организмами. То же самое имело место и в отношении первичных пигментированных организмов, в которых рано или поздно должны были возникнуть добавочные механизмы, позволяющие им восстанавливать углекислоту и на этой базе осуществлять первичный синтез новых органических веществ.

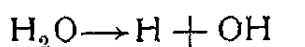
Мы еще очень мало знаем о химизме ассимиляции CO_2 , чтобы сейчас говорить о последовательных этапах возникновения этого процесса. Несомненно только, что ассимиляция углекислоты зелеными растениями складывается из целого ряда отдельных световых реакций и реакций, протекающих в темноте, строго координированных между собой. Р. Вильштеттер и А. Штолль [46] еще в 1918 г. разработали схему фотосинтеза. Согласно этой схеме, процесс ассимиляции углекислоты протекает двухфазно. Сначала углекислота соединяется с магнием хлорофилла, образуя комплексную соль. Затем происходит собственно первичная фотохимическая реакция, при которой, в результате поглощения больших количеств световой энергии, происходит превращение соединенной с хлорофиллом углекислоты в перекись муравьиного альдегида. Это богатое энергией, легко распадающееся соединение дальше претерпевает ряд изменений, заключающихся в последовательном отщеплении кислорода. Вильштеттер и Штолль полагали, что сначала освобождается один, а затем другой атом кислорода в результате действия каталазоподобного фермента. Здесь сперва получается муравьинокислая соль, а затем формальдегид, который отщепляется от хлорофилла. При этом хлорофилл освобождается и вновь может вступать в соединение с новой молекулой углекислоты:





Таким образом, согласно изложенной схеме, первый этап реакции является фотохимическим, связанным с поглощением световой энергии. Второй этап разложения перекиси есть процесс энзиматический, который может протекать и в отсутствии света. Такого рода разделение реакций на световые и протекающие в темноте было в дальнейшем подтверждено обширными исследованиями О. Варбурга [47].

Слабым местом в изложенной схеме Вильштеттера и Штолля является отщепление кислорода. В недавнее время Штолль в цитированной выше работе дополнил эту схему представлением о первичном фотолизе воды. Как мы уже говорили, по теории Штолля, фотосинтез начинается с распада воды. В первую очередь происходит гидратирование хлорофилла, и эта гидратная вода при действии световой энергии распадается по формуле:



Образующиеся при этом гидроксилы превращаются в перекись водорода, которая под влиянием каталазы распадается на воду и кислород. Весь кислород, образующийся при фотосинтезе, возникает не из углекислоты, а именно из воды, превратившейся при поглощении энергии в H_2O_2 . Водород воды восстанавливает углекислоту, но для этого и углекислота должна быть активирована, а именно, согласно старым представлениям Вильштеттера и Штолля, углекислота присоединяется к хлорофиллу и под влиянием солнечной энергии превращается в перекисную форму, на которую, собственно, и действует водород воды. В результате этого углекислота восстанавливается в формальдегид, который и служит материалом для последующего синтеза углеводов.

Согласно исследованиям Вюрмзера, Каутского [48], Оствальда [49] и других, эти отдельные фотохимические и темновые реакции должны происходить в разных фазах хлорофилльного зерна, липоидной и водной. Таким образом, они должны быть определенным образом координированы между собой не только во времени, но и в пространстве. Этим объясняется тот факт, что ни хлорофилл как таковой, ни растертые листья не могут осуществлять ассимиляцию углекислоты. Для этого необходима известная организация, даже известная архитектура тех коллоидных образований, которые этот процесс осуществляют [50].

Таким образом, появление одного только пигмента еще не обуславливает собой ассимиляционного процесса. Для этого требуется, кроме того, сложная физико-химическая организация, включающая ряд специальных ферментативных комплексов и ряд структур, определенным образом регулирующих течение и скорость отдельных реакций [51]. Все это, конечно, создавалось не сразу, но для возникновения всего этого была уже прочная база в виде вполне сложившихся организмов, способных усовершенствовать свою внутреннюю организацию в процессе эволюции. Чрезвычайно интересно было бы сравнить ассимиляционные системы, которыми наделены растения, стоящие на разных ступенях эволюционной лестницы. По всей вероятности, здесь удалось бы обнаружить такую же последовательность развития в смысле организации биохимических процессов, какую удалось установить для разнообразных форм брожения. Во всяком случае, уже то немногое, что мы знаем об ассимиляции углекислоты, позволяет нам до некоторой степени представить себе, каким образом этот процесс мог развиваться на основе гетеротрофного питания органическими веществами.

Возникновение фотосинтеза представляло чрезвычайно важный этап в процессе эволюции органического мира нашей планеты; оно коренным образом изменило все существовавшие до того времени отношения. На ряду с накоплением кислорода началось увеличение количества органических веществ, которые могли быть снова пущены в оборот энергетического обмена. Это позволило основному эволюционному потоку вернуться в старое русло дальнейшего развития организмов, приспособленных к питанию органическими веществами. Период острого недостатка в этих веществах остался позади, и только как биологическое воспоминание о нем сохранилась небольшая группа способных к химическому синтезу автотрофных организмов, представляющих собой лишь незначительное ответвление от общего эволюционного потока.

Но после возникновения фотосинтеза эволюция организмов, приспособленных к питанию органическими веществами, протекала уже на совершенно иных биохимических основаниях, чем это имело место до указанного события.

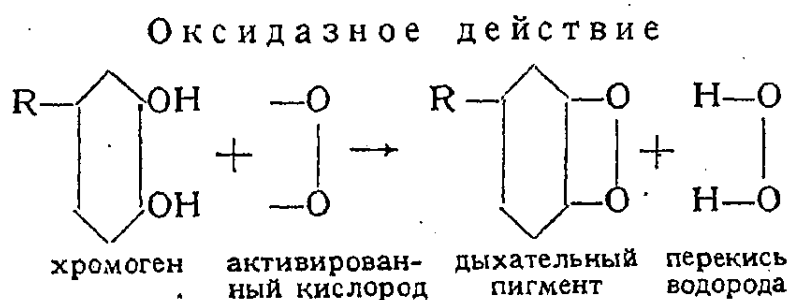
Во-первых, служившие ранее единственным источником углеродистого питания производные первичных углеводов были теперь заменены образующимися в процессе фотосинтеза углеводами. Если первые можно рассматривать в основном как производные ацетальдегида, то вторые явились производными формальдегида. Как строение соединений, входящих в состав живого вещества, так и характер происходящего здесь обмена были приспособлены, так сказать, к «ацетальдегидному питанию». Поэтому гетеротрофным организмам пришлось в описываемую нами эпоху несколько перестроиться: создать в своей организации новые добавочные механизмы, которые позволяли бы им восстанавливать первичную спиртовую группу в метильную

и таким образом приспособливать новый источник питания к старым формам его использования.

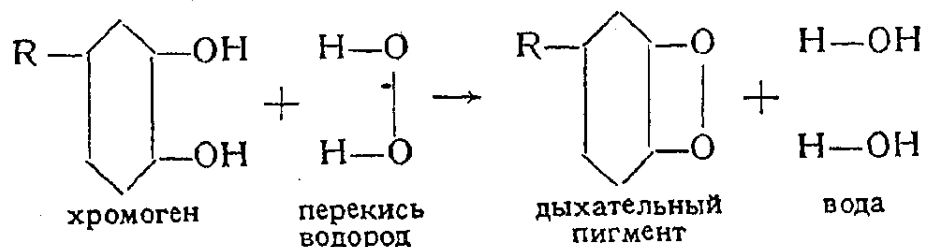
Во-вторых, присутствие в атмосфере значительного количества свободного кислорода позволило даже бесцветным организмам в широком масштабе перестраиваться, эволюционировать в сторону рационализации своего энергетического обмена. Эта рационализация в общих чертах свелась к тому, что водород, образующийся при гидролитическом окислении органических веществ, стал окисляться кислородом воздуха. Старый аппарат брожения был сохранен полностью, но к нему добавились, на него наложился новые физико-химические надстройки, позволяющие гораздо более полно использовать пищевые вещества для экзотермических синтезов, для построения протоплазмы. В основе дыхания осталось лежать то же окисление органических веществ за счет гидроксила воды, которое мы имели в старых формах энергетического обмена. Но в то время как там (в спиртовом или молочнокислом брожении) водород акцептировался органическими веществами, здесь он стал соединяться с кислородом воздуха, что в значительной степени повысило коэффициент использования исходного материала.

Однако не нужно думать, что окисление атмосферным кислородом протекает очень легко. Напротив, молекулярный кислород при обычных температурах есть, вообще говоря, газ в достаточной степени инертный. Поэтому для осуществления указанного окисления необходим довольно сложный аппарат, активирующий молекулярный кислород и позволяющий живым организмам осуществлять процесс дыхания.

Согласно исследованиям А. Баха [51], В. Палладина [52] и моим [53], в современных высших растениях дыхательный процесс осуществляется при помощи следующего внутреннего физико-химического механизма: в растительных клетках присутствует весьма мощная система окислительных ферментов — оксидаз и пероксидаз, активирующих молекулярный кислород. Действие этих ферментов является строго специфичным. Даже в их присутствии кислород не может непосредственно окислять углеводы, жиры или белки, а может действовать только на особые вещества типа полифенолов, всегда присутствующие в растительной клетке и названные В. Палладиным «дыхательными хромогенами». Окисление этих веществ кислородом воздуха при каталитическом воздействии оксидазы и пероксидазы совершается согласно следующему уравнению:



Пероксидазное действие



Из этого уравнения видно, что активированный ферментами кислород отнимает от полифенолов водород, причем образуются две молекулы воды и две молекулы хинообразного соединения, так называемого «дыхательного пигмента». Этот «дыха-

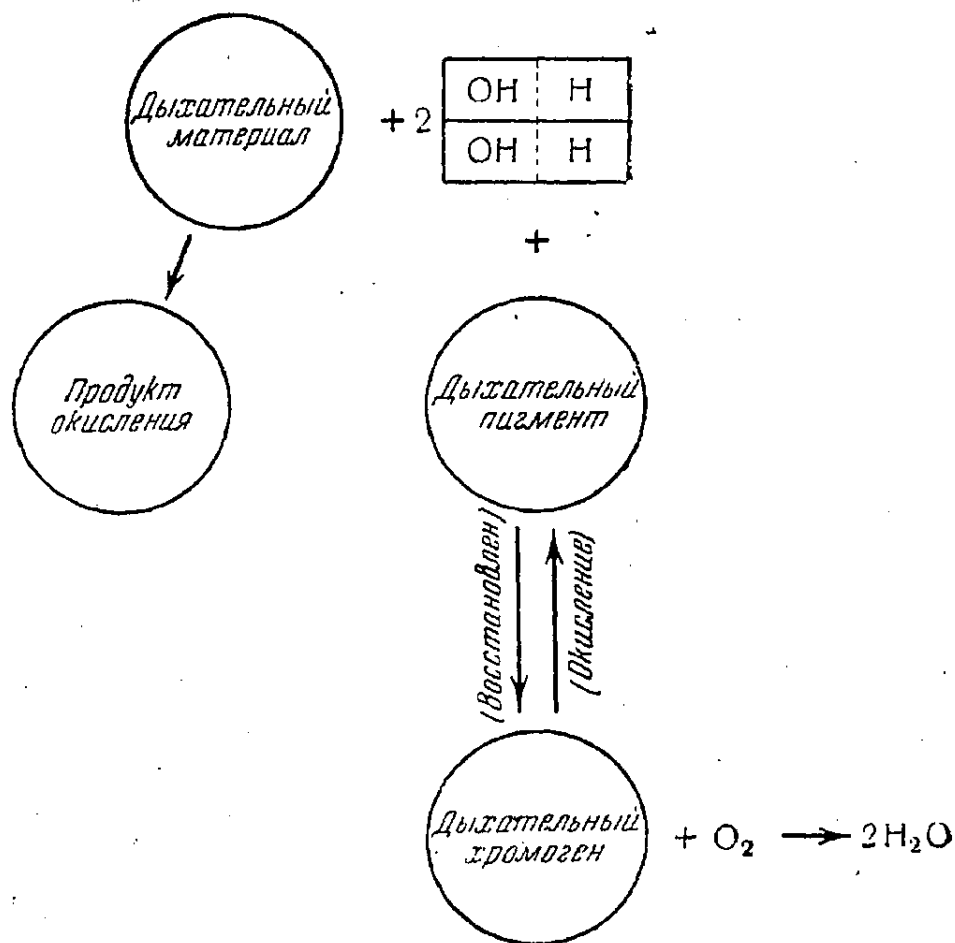


Рис. 15. Схема процесса аэробного окисления.

тельный пигмент» является прекрасным акцептором водорода. Он присоединяет к себе два атома водорода из двух молекул воды и вновь восстанавливается в свое первоначальное состояние дыхательного хромогена. Освобождающиеся при этом гидроксилы воды окисляют разнообразные органические вещества. Таким образом, весь процесс аэробного окисления протекает согласно схеме, изображенной на рис. 15.

Активированный оксидазами кислород воздуха окисляет дыхательные хромогены, при этом от них отнимается водород, и они превращаются в дыхательные пигменты. Последние являются акцепторами водорода. При воздействии окислительно-восстановительных ферментов (о которых мы уже говорили,

когда разбирали процесс брожения) происходит сопряженная окислительно-восстановительная реакция, в результате которой различные органические вещества окисляются гидроксилом воды, а водород восстанавливает дыхательный пигмент обратно в хромоген.

В случае дыхания за счет углеводов явление начинается прежде всего с распада сахара в процессе спиртового брожения. Но, как мы видели, при обычном спиртовом брожении триозы окисляются гидроксилом воды в пировиноградную кислоту, в то время как водород воды улавливается ацетальдегидом, который восстанавливается при этом в спирт. При дыхании этот водород перехватывается «дыхательным пигментом», а освобождающийся ацетальдегид или вступает в соединение с другими веществами и используется для синтеза живого вещества или дальше окисляется гидроксилом воды, в то время как водород опять-таки акцептируется «дыхательным пигментом».

Как показали мои исследования, этот процесс может нормально протекать только при весьма точной координации отдельных реакций. В частности, в живой клетке реакция окисления полифенолов (хромогенов) в пигмент и реакция их обратного восстановления очень точно уравновешены между собой. Поэтому никогда не происходит какого-либо заметного накопления пигмента. Он сейчас же восстанавливается обратно в хромоген. Иначе будет обстоять дело в том случае, если мы разрушим живую клетку, пораним или разотрем ее. В этом случае всякая регулировка отдельных реакций нарушается, и в первые моменты окислительные процессы начинают резко преобладать над восстановительными. Вследствие этого накапливается некоторое количество дыхательного пигмента. Однако это вещество может не только восстанавливаться обратно в хромоген, но и окисляться дальше, причем из него образуется стойкий коричневый пигмент. Последний уже не способен к обратному восстановлению и, следовательно, является конечным продуктом реакции (см. схему на рис. 16).

Хромоген при воздействии оксидазы окисляется кислородом воздуха в дыхательный пигмент, а этот последний окисляется дальше в стойкое, окрашенное в коричневый цвет соединение, не способное уже акцептировать водород. Весь дыхательный механизм тем самым как бы ломается. Окисление дыхательного материала гидроксилом воды прекращается, и весь процесс дыхания останавливается.

Приведенный пример показывает, какой относительно сложный механизм должен был создаться в процессе эволюции в живой растительной клетке для того, чтобы она приобрела способность к дыханию. При этом мы видим, что работа такого сложного физико-химического аппарата возможна только при очень тонкой регулировке отдельных процессов, являющихся звеньями описанной сложной цепи превращения веществ.

В недавнее время А. Сцент-Гьорги [54] показал, что на ряду с изложенной схемой дыхательного процесса в растительной клетке существуют и другие механизмы дыхания, в которых функцию полифенолов принимает на себя аскорбиновая кислота (витамин С). Это вещество может находиться в двух формах — в восстановленной и окисленной (дегидроформа). Последняя может служить акцептором водорода, причем происходит ее восстановление. При помощи специальных оксидаз восстановленная аскорбиновая кислота может окисляться кислородом

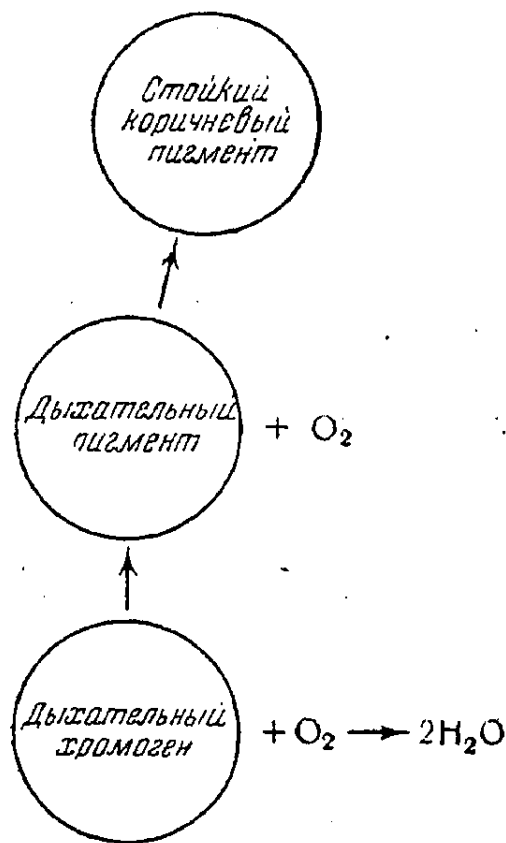
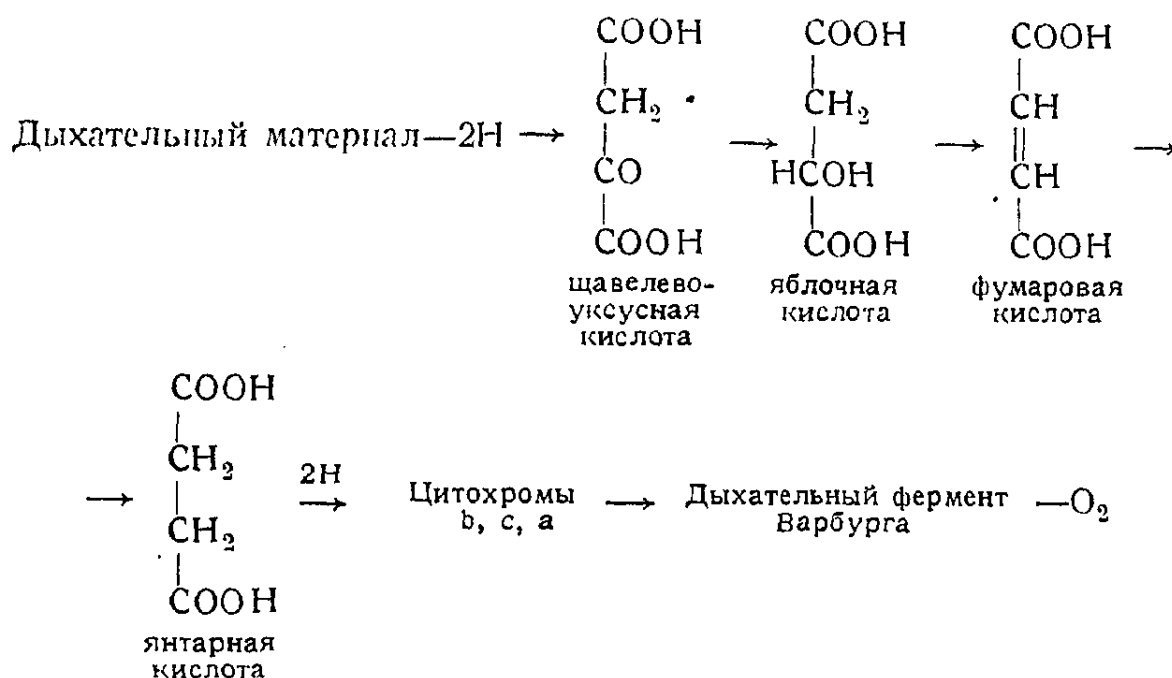


Рис. 16. Схема прекращения дыхания при разрушении клетки.

воздуха в дегидроаскорбиновую кислоту и вновь выступать в качестве акцептора водорода.

На ряду с этим Сцент-Гьорги [55] дал схему дыхания животных тканей, которая существенно отличается от указанных выше. По этой схеме водород, освобождающийся при окислении дыхательного материала, последовательно акцептируется рядом органических кислот, причем последней в этом ряду является янтарная кислота. Далее система усложняется включением в нее ряда гемин, получивших, по Д. Кейлину [56], наименование цитохромов. Эти цитохромы включены между янтарной кислотой и кислородом. Однако, согласно Сцент-Гьорги, их положение в системе, а также их функции еще не являются окончательно выясненными. Согласно представлениям О. Варбурга [57], молекулярный кислород сначала реагирует с металлопротеидом (дыхательным ферментом, цитохромокси-

дазой), и окисленный металл затем окисляет цитохром. Таким образом, общая схема дыхания может быть представлена в следующем виде:



По О. Варбургу, первым по порядку акцептором освобождающегося водорода является пиридинпротеид, который присоединяет водород по месту двойной связи. Дальше присоединенный водород может передаваться различными путями: или через цитохромы и дыхательный фермент он окисляется кислородом воздуха до воды, или его окисление происходит через посредство специального желтого дыхательного фермента Варбурга.

Таким образом, мы видим, что внутренние физико-химические механизмы, которые обуславливают процесс дыхания у различных организмов, могут быть глубоко различными. Те дыхательные механизмы, которые так ярко выражены у высших растений, в животных тканях или совершенно отсутствуют или отходят на задний план. В частности, в животной клетке нет той чрезвычайно активной пероксидазы, которая так характерна для растительных объектов. Точно так же отсутствуют здесь и специфические растительные дыхательные хромогены. Взамен их выступают другие, не менее сложные системы веществ и ферментов.

Это различие дыхательных механизмов у высших растений и у высших животных не должно нас удивлять, так как возникновение дыхательного процесса произошло на сравнительно поздних этапах существования организмов, когда две указанные ветви органического мира уже успели обособиться друг от друга.

Мы сознательно сузили рассмотрение биохимических процессов, идущих у современных нам живых существ, сосредоточив свое внимание только на некоторых главных вопросах обмена. К сожалению, и эти вопросы изучены еще далеко не полно.

Однако и этих знаний достаточно, чтобы нарисовать более или менее определенную картину постепенной эволюции внутренней физико-химической организации живого вещества. У простейших современных живых существ мы находим уже довольно сложный аппарат, позволяющий этим организмам быстро улавливать и усваивать готовые органические вещества. Здесь уже присутствуют многочисленные ферментные системы, позволяющие осуществлять различные экзотермические реакции, идущие за счет элементов воды. Однако координация между этими отдельными реакциями еще не выражена в достаточной степени четко, и нередко обмен еще носит довольно беспорядочный характер, что связано с нерациональным использованием органических веществ и заключенной в них энергии. Постепенно в процессе эволюции возникают все более и более строго координированные между собой системы, устанавливается определенный порядок, определенная последовательность тех химических реакций, которые входят как отдельные звенья в общую цепь урегулированного процесса обмена. Так, например на базе маслянокислого брожения возникают спиртовое и молочнокислое брожения.

Появление в протоплазме нового химического фактора — пигмента и связанного с ним фотолиза воды создало предпосылки для более рационального использования органических веществ, служивших энергетическим материалом. Но вместе с этим в обстановке недостатка этого материала оно привело к созданию новых форм существования, к выработке новых внутренних механизмов, позволяющих ассимилировать углекислоту. Возникшее в результате фотосинтеза новое изобилие органических веществ обусловило дальнейшую эволюцию гетеротрофных организмов. Она пошла по линии использования атмосферного кислорода для более рационального, более энергетически эффективного усвоения органических веществ. Так, создались новые механизмы, новые надстройки энергетического обмена, аппараты внутриклеточного дыхания.

Итак, сущность эволюции внутреннего физико-химического аппарата протоплазмы сводится, с одной стороны, к возникновению новых веществ (например, пигмента и т. д.) и новых ферментных систем и, с другой стороны, к урегулированию отдельных ферментативных реакций, к созданию таких строго координированных процессов, как брожение, дыхание и т. д. Совершенно ясно, что эта эволюция не ограничивалась только тем периодом, с которым мы можем познакомиться на основании изучения существующих в настоящее время органических форм. Из всего предыдущего следует, что она началась значительно раньше.

Изучая отдельные фазы постепенного развития современных нам организмов, мы можем с известной долей вероятности де-

лать аналогичные заключения и в отношении хода эволюции, предшествовавшей появлению живых существ. С другой стороны, нет сомнения, что описанный нами процесс эволюции внутренней физико-химической организации протоплазмы совершается и в настоящее время. И теперь при возникновении новых сортов, рас и разновидностей можно установить, что они обладают новыми биохимическими особенностями, что превращения вещества и энергии в них идут несколько иначе, чем у их прародителей. А это показывает, что в их внутренней организации произошли какие-то изменения, образовались новые комбинации веществ и ферментов, создались иные физические и химические системы и отношения. Поэтому с разбираемой нами точки зрения современный процесс эволюции живых существ в принципе представляет собой не что иное, как ряд дальнейших звеньев той непрерывной цепи превращений материи, начало которой восходит к наиболее ранним стадиям существования нашей планеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Pascher. Ber. d. Dtsch. bot. Ges., 33, 427. 1915; Charpentier. C. R., 134, 672. 1902; O. Richter. Ber. d. Dtsch. bot. Ges. 21, 493. 1903.
2. K. Harder. Zschr. f. Bot., 9, 145. 1917.
3. В. Палладин. Rev. génér. d. Bot., 6, 201. 1894; 8, 225. 1896; 13, 18. 1901; Ber. d. Dtsch. bot. Ges., 20. 1902; Lindet. C. R., 152, 775. 1911.
4. J. Boehm. Bot. Zschr., 41, 54, 1883; I. Laurent. C. R., 125, 887. 1897; 135, 870. 1902; Molliard. C. R., 141, 389. 1905; 142, 49. 1906; В. Любименко. C. R., 143, 130, 516. 1906; Г. Петров. Усвоение азота высшим растением на свету и в темноте. 1917.
5. С. Виноградский. Ann. Inst. Past., 4, 213, 257, 760. 1890; 5, 92, 577. 1891; Cbl. f. Bakt., 11, 2, 415. 1896.
6. H. Osborn. The origin and evolution of life. London. 1918.
7. В. Омелянский. Основы микробиологии, стр. 23. Петербург. 1922.
8. В. Комаров. Типы растений. Изд. Акад. Наук, стр. 143. 1939.
9. Л. Курсанов, БСЭ, 57, 411. 1935.
10. В. Вернадский. Биосфера, стр. 36. Ленинград. 1926.
11. D'Herelle. The Bacteriophage and its Behavior. London. 1926.
12. P. Hauduroy. Les ultravirus et les formes filtrantes des microbes, Paris. 1929.
13. В. Таусон. Микробиология, 8, 1043. 1939.
14. M. Traube. Ber. d. Dtsch. chem. Ges., 15, 659, 2421, 2434; 16, 123. 1883; 18, 1877, 1890, 1885.
15. Engel. C. R., 110, 786, 1890.
16. A. Bach. Ber. d. Dtsch. chem. Ges., 42, 4463. 1909.
17. H. Euler. Chemie der Enzyme. München. 1934.
18. С. Костычев. Физиология растения, ч. I, стр. 469. Огиз. 1933.
19. A. Kluver. Erg. d. Enzymforsch., Bd. 4, S. 230. 1935 (см. также K. Bernhauer. Grundzüge der Chemie und Biochemie der Zuckerarten, S. 210. Berlin. 1933).
20. E. Pflüger. Pfl. Arch., 10, 251, 1875.
21. W. Pfeffer. Landw. Jahrb., 7, 805. 1878.

22. С. Костычев. Исследование над анаэробным дыханием растений, СПб. 1907.
23. С. Костычев. Физиология растений, ч. I, стр. 497, Огиз. 1933.
24. О. Мейергоф. Химическая динамика жизненных явлений, Госиздат. 1926.
25. G. Embden u. K. Kraus. Bioch. Zschr., 45, 1. 1912.
26. И. Парнас. Успехи современной биологии, 12, 393. 1940.
27. В. Таусон. «Природа», № 6, 43. 1934.
28. В. Таусон. Энергетика синтетических процессов в клетке. Доклад на общем собрании Акад. Наук СССР. 1940.
29. В. Таусон и В. Алешина. Микробиология, 1, 229. 1932.
30. В. Таусон и И. Веселов. Микробиология, 3. 1934.
31. E. Lederer. Bull. Société Chimie biolog., 20, 611. 1938.
32. В. Таусон, Сб., посв. К. А. Тимирязеву. Изд. Акад. Наук. 1940.
33. В. Любименко. Фотосинтез и хемосинтез. Сельхозгиз. 1935.
34. H. Molisch. Die Purpurbakterien. 1907.
35. C. van. Niel. Contributions to Marine Biology (Stanford University), 161. 1930.
36. J. Eymers a. K. Wassink. Enzymologia, 2, 258. 1938.
37. F. Weigert. Zeit. f. physik. Chem., 106, 313, 383. 1923.
38. A. Bach. Arch. d. sciences phys. et natur., 5. 1898.
39. O. Warburg. Katalyt. Wirk. d. leb. Substanz. Berlin. 1928.
40. T. Thunberg. Zeit. f. physik. Chem., 106, 305. 1923.
41. R. Wurmser. Bull. Soc. Chim. Biol., 5, 305, 1923; Arch. phys. biol., 1, 33.
42. A. Stoll. Naturwiss., 20, 995. 1932.
43. K. Shibata u. E. Yakushiji. Naturwiss., 21, 267. 1933.
44. О химизме окислительных брожений, см. A. Bertho. Die Essiggärung, Erg. d. Enzymforsch., Bd I, 231; K. Bernhauer. Biochemie der oxydativen Gärungen, ib., Bd. III, 185. 1934.
45. Подробнее о химизме нитрификации (см. O. Meyerhof, Pfl. Arch., 164, 353. 1916; о серобактериях — van Niel. Contributions to Marine Biology, 1930; о железобактериях — Н. Холодный, Die Eisenbakterien. 1926).
46. R. Willstätter u. A. Stoll. Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Berlin. 1918.
47. O. Warburg u. E. Negelein. Zeit. f. physiol. Chem., 106, 191. 1923.
48. H. Kautsky. Ber. d. Dtsch. Chem. Ges., 65, 1762. 1932.
49. W. Ostwald. Koll. Zschr., 33, 356. 1932.
50. См. также сводку К. Ноаск. Photosynthese, Hdb. d. Naturwiss. 1932. и сводку Н. Некрасова. Успехи химии, 6, 334. 1937.
51. А. Бах. Химизм дыхательных процессов, Журн. Русск. физико-хим. общ. 1912.
52. W. Palladin. Ber. d. Dtsch. bot. Ges., 30, 104. 1912; Zeit. f. Gärungsphysiol., 1, 91. 1912.
53. A. Opárin. Biochem. Zeit., 182, 155. 1927.
54. A. Szent-Györgyi. Zeit. f. physiol. Chem., 254, 147. 1938.
55. А. Сцент-Гьорги. Успехи совр. биол., 5, 333. 1936.
56. D. Keilin. Erg. d. Enzymforsch., Bd. II, S. 239, 1933.
57. О. Варбург. Успехи совр. биол., 4, 46. 1935.
58. O. Warburg. Nobelvortrag, Angew. Chem., I. 1932.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги всему сказанному, мы должны прежде всего со всей категоричностью отвергнуть всякие попытки воскрешения старых представлений о внезапном, самопроизвольном зарождении. Нужно раз навсегда понять, что как бы ни был мал организм, как элементарно с первого взгляда ни представлялось бы его строение, он все же бесконечно сложнее простого раствора органических веществ. Он обладает определенной динамически устойчивой организацией, основанной на гармоническом сочетании строго координированных между собой химических реакций. Характерной особенностью этой организации является ее высокая приспособленность к несению определенных жизненных функций, к осуществлению ряда жизненных явлений. Бессмысленно ожидать случайного возникновения такой организации в результате «счастливого» сочетания атомов или молекул или благодаря воздействию каких-то неведомых нам внешних условий.

Но из этого совершенно не следует, что отсюда мы должны сделать вывод об абсолютном принципиальном различии между живыми организмами и косной материей. На основании повседневного опыта мы легко отличаем живые существа от окружающей их неживой природы. Но все многочисленные попытки найти какие-либо специфические, встречающиеся только в организмах «жизненные силы» неизменно кончались полной неудачей. Этому учит нас вся история биологии XIX и XX вв. А если это так, то жизнь не могла существовать вечно. Изучение таких характерных для живых организмов свойств, как, например, определенное строение белков, асимметрия протоплазмы, исключительная скорость и согласованность биохимических реакций, способность к самовоспроизведению и т. д. показывает, что жизнь является новой формой существования материи, которая обязательно должна была возникнуть, как определенный этап в историческом развитии материи.

Мы постарались здесь, оставаясь все время на почве научно установленных фактов, до известной степени нарисовать картину той эволюции материи, которая привела к возникновению жизни на Земле. Отделившаяся от Солнца газовая струя

послужила материалом для образования нашей планетной системы. На ряду с другими элементами солнечной атмосферы в тот газовый сгусток, из которого впоследствии сформировалась Земля, перешел и углерод — элемент, встречающийся в настоящее время во всех без исключения живых существах. Среди всех других элементов углерод выделяется своей исключительной способностью к ассоциации атомов. Уже при температурах, близких к температуре поверхности Солнца, его атомы были соединены попарно, а при дальнейшем охлаждении начали образовывать молекулы с еще большим числом атомов (типа C_n). Вследствие этого, при формировании нашей планеты из раскаленных газовых масс, тяжелые пары углерода должны были довольно скоро сгуститься в капли или в твердые частицы и в виде углеродного дождя или снега войти в состав первичного земного ядра. Здесь углерод пришел в непосредственное соприкосновение с другими элементами, образующими это ядро — с тяжелыми металлами, главным образом, с железом, играющим исключительную роль в составе центрального тела нашей современной Земли.

Находясь в смеси с тяжелыми металлами, углерод при постепенном остывании Земли вступал с ними в химическое взаимодействие. При этом образовывались наиболее устойчивые по отношению к высоким температурам соединения углерода — карбиды. Возникшая затем оболочка из первичных горных пород отделила карбиды от тогдашней земной атмосферы. Эта атмосфера существенно отличалась от современной нам; она не содержала кислорода и азота, но изобиловала перегретыми водяными парами. Оболочка, отделявшая карбиды от атмосферы, не была еще достаточно прочной для того, чтобы преодолеть гигантские приливы внутренней огненно-жидкой массы, возникавшие вследствие действия притяжения Солнца и Луны. Во время таких приливов тонкая кора горных пород разрывалась, и через образовавшиеся трещины на земную поверхность изливались глубоко лежащие огненно жидкие массы. При взаимодействии карбидов с перегретым водяным паром атмосферы возникли простейшие органические вещества — углеводороды. Подвергаясь окислению за счет связанного кислорода воды, они давали разнообразные производные (спирты, альдегиды, кетоны, органические кислоты и т. д.). На ряду с этим они вступали в соединения с образовавшимся к тому времени на земной поверхности аммиаком, давая амиды, амины и другие азотистые производные.

Таким образом, когда наша планета остыла настолько, что водяные пары сгустились и образовали первичную горячую водную оболочку Земли, в ней были уже растворены органические вещества, в состав молекул которых наравне с углеродом входили также водород, кислород и азот. Указанные органические вещества обладают громадными химическими возможностями.

Вследствие этого они вступали в разнообразные химические взаимодействия как между собой, так и с элементами воды. Этот процесс привел к образованию сложных высокомолекулярных органических соединений, подобных тем, которые в настоящее время входят в состав тел животных и растений. В частности, таким путем могли возникнуть и наиболее биологически важные соединения — белковоподобные вещества.

Первоначально эти вещества находились в водах морей и океанов в виде коллоидных растворов. Их молекулы были рассеяны, равномерно распределены в растворителе, полностью слиты с окружающей средой. Но при смешивании коллоидных растворов различных веществ произошло возникновение особых образований — коацерватов, или полужидких коллоидных студней — гелей. При этом органическое вещество сконцентрировалось в определенных пунктах пространства и отделилось от окружающей среды более или менее резкой границей. Внутри коацервата или геля коллоидные частицы расположились определенным образом по отношению друг к другу. Следовательно, здесь уже появились зачатки некоторой элементарной структуры. Каждая капелька коацервата приобрела известную индивидуальность, и ее дальнейшая судьба определялась не только условиями внешней среды, но и ее внутренним специфическим физико-химическим строением. В зависимости от этого строения капелька могла с большей или меньшей скоростью воспринимать (адсорбировать) и «усваивать» органические вещества, растворенные в окружающих ее водах. В результате этого происходило увеличение массы капельки — ее рост. Но этот рост совершался тем скорее, чем больше внутренняя физико-химическая структура данного коллоидного образования была приспособлена к адсорбции и внутренней химической переработке адсорбированных веществ.

Таким образом, возник некоторый своеобразный процесс, который мы можем условно назвать «соревнованием» гелей на скорость роста. Но при росте гелей их физико-химическое строение не оставалось постоянным; вследствие присоединения новых веществ, вследствие химических превращений и т. д. оно постоянно изменялось. Указанные изменения могли приводить к усовершенствованию организации, но могли создавать и такие изменения, которые обусловили разрушение, распад структуры. Однако тем самым они приводили к самоуничтожению, растворению породившей их капельки коацервата. Право на дальнейшее существование и развитие получали только такие изменения в строении коллоидных образований, которые являлись прогрессивными, т. е. способствовали более быстрому поглощению растворенных веществ и росту геля. Таким образом создавался своеобразный естественный отбор, который, в конечном счете, и привел к возникновению систем, обладающих

высокой физико-химической организацией, к возникновению простейших первичных организмов.

Этот краткий обзор показывает, каким образом шла постепенная эволюция органических веществ, как на простые элементарные вначале свойства накладывались все новые и новые качества, подчиняющиеся закономерностям все более и более высокого порядка. Сначала возникли простые растворы органических веществ, их поведение определялось свойствами составляющих их атомов и расположением этих атомов в молекулах. Но постепенно в результате роста этих молекул и их усложнения возникли новые качества, и на простейшие органохимические отношения наложился новые коллоидо-химические закономерности. Они определялись уже взаимным расположением молекул в пространстве. Однако для возникновения первичных живых существ и эти закономерности были еще недостаточны. Для этого было необходимо, чтобы коллоидные образования в процессе своей эволюции приобрели качества еще более высокого порядка, позволяющие им перейти на следующую ступень организации вещества. Здесь в процессе становления на первый план выступили уже биологические закономерности. «Соревнование» на скорость роста и естественный отбор создали такую форму организации вещества, которая присуща современным нам живым существам.

Естественный отбор давно уже уничтожил, смел с лица Земли все промежуточные формы организации первичных коллоидных образований и простейших живых существ. Всюду, где внешние условия благоприятствуют развитию жизни, мы находим сейчас бесчисленное количество уже вполне сложившихся высоко организованных живых существ. Если бы сейчас в этих условиях где-либо и появилось органическое вещество, то его эволюция не могла бы быть длительной. Очень скоро оно было бы уничтожено, съедено населяющими землю, воду и воздух микроорганизмами. Поэтому в настоящее время мы лишены возможности непосредственно наблюдать описанный выше процесс эволюции органических веществ, процесс зарождения жизни. Колоссальные промежутки времени, необходимые для отдельных этапов этого процесса, лишают нас возможности воспроизвести его в лабораторных условиях в том виде, как он совершался в природе.

Остается еще только открытым путь искусственного синтеза организмов. Но для разрешения этой задачи необходимо знакомство с внутренним интимным строением живых существ во всех его деталях. Даже синтез сравнительно простых органических соединений мы осуществляем обычно только на основе более или менее полного знакомства с расположением атомов в молекулах этих частиц. Но в несравненно большей степени это применимо по отношению к таким сложным системам, какими являются организмы. Мы еще очень далеки в на-

стоящее время от того полного познания живых существ, которое позволило бы нам приступить к их синтезу. Поэтому сейчас исследовательская работа по вопросу о происхождении жизни должна поневоле носить только аналитический характер.

Перед нами стоит колоссальная задача изучения каждой отдельной стадии нарисованного нами выше эволюционного процесса. Нам нужно глубоко исследовать свойства белковых веществ, изучить строение коллоидных органических образований, ферментных систем, протоплазменных структур и т. д. Этот путь труден и длинен, но зато он надежно ведет нас к познанию жизни. Искусственное построение, синтез живых существ является хотя и отдаленным, но вполне достижимым этапом на этом пути,

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
--------------------	---

ГЛАВА I

Теории самозарождения жизни

Представления древних и средневековых ученых о самозарождении живых существ. Опыты Реди. Представления о самозарождении микроорганизмов. Спор Нидгэма и Спалланцани. Опыты Гей-Люссака, Швана, Шульце, Шредера и Душа. Взгляды, развитые Пуше. Работы Пастера, опровергающие самозарождение живых существ. Новейшие гипотезы о самозарождении ультрамикробов и фильтрующихся вирусов. Ошибочность этих представлений	6
--	---

ГЛАВА II

Теории вечности жизни

Теории вечности жизни у древних. Возникновение представлений о вечности жизни в XIX в. Критика этих представлений Ф. Энгельсом. Теория космозоев Рихтера. Взгляды Гельмгольца. Теория панспермии Аррениуса. Современное состояние вопроса о переносе зародышей жизни с других небесных тел на Землю. Действие ультрафиолетовых лучей, исключающее возможность такого рода переноса	34
--	----

ГЛАВА III

Материалистические теории происхождения жизни

Механистический принцип самоформирования живых существ. Представления Демокрита. Декарт. Взгляды Геккеля. Попытки построения «моделей живых организмов». Критика механистических представлений по вопросу о происхождении жизни. Эволюционные теории возникновения жизни. Взгляды, развитые Энгельсом. Теория Пфлюгера. Представления Шефера, Комарова и других естествоиспытателей. Современное состояние вопроса	47
--	----

ГЛАВА IV

Первичные формы углеродных и азотистых соединений

Формы углеродных соединений, встречающиеся на различных небесных телах: на поверхности звезд (в частности — Солнца), планет, комет и метеоритов. История возникновения Земли. Местонахождение углерода. Судьба других органогенных элементов (водорода, кислорода и азота). Первичное возникновение карбидов. Встреча карбидов с водяным паром на поверхности Земли. Образование углеводородов. Образование аммиака	69
---	----

ГЛАВА V**Возникновение органических веществ. Первичные белки**

Возникновение неопределенных углеводов. Их гидратирование водяным паром. Образование третичных соединений. Азотистые производные углеводов. Пути возникновения сложных органических веществ. Взаимодействие органических веществ с водой. Первичное возникновение асимметрии. Первичное возникновение белковых веществ. 100

ГЛАВА VI**Возникновение первичных коллоидных образований**

Различные типы высокомолекулярных органических соединений. Коллоидные растворы и смеси этих растворов. Возникновение коацерватов. Их строение и свойства 131

ГЛАВА VII**Организация живого вещества**

Понятие о живом веществе. Механистические представления о строении протоплазмы. Современные данные о коллоидной химии протоплазмы. Организация живого вещества в пространстве и во времени. Роль процесса в организации живого вещества. Ферменты как одна из простейших форм организации живого вещества. Гармоническое координирование отдельных химических процессов, совершающихся в живой протоплазме. Структура протоплазмы и ее значение для направленности биохимических процессов. Биохимический синтез и способность живого вещества к самовоспроизведению 156

ГЛАВА VIII**Возникновение первичных организмов**

Рост коацерват. Их неустойчивость. Зависимость скорости роста от внутренней структуры коацерватов. Их соревнование на скорость роста. Естественный отбор. Возникновение динамически устойчивых систем. Последовательное возникновение все более и более сложных форм организации вещества. История возникновения ферментных систем. Возникновение координации между отдельными биохимическими процессами. Возникновение способности к самовоспроизведению. Образование первичных организмов. Возникновение клетки 198

ГЛАВА IX**Дальнейшая эволюция первичных организмов**

Питание первичных организмов за счет готовых органических веществ. Необходимость энергетического обмена. Возникновение различных физико-химических систем, обуславливающих сбраживание органических веществ. Маслянокислое брожение. Последовательное развитие молочнокислого и спиртового брожения. Фотохимические реакции. Образование свободного кислорода. Возникновение автотрофного питания. Химиосинтез, фотосинтез. Возникновение дыхательных систем. Сравнительная биохимия современных организмов 225

Заключение 261

Редактор издательства В. Ф. Мирек. Подписано к печати 28/III 1941 г. РИСО № 1133—730.

А36518. Объем 16³/₄ печ. л., 16,04 уч.-изд. л. Тираж 30 000 экз. (1-й завод 1—10 000 экз.).

Цена книги в обл. 5 р. 75 к., в пер. 8 р. 25 к.

1-я Образцовая типография Огиза РСФСР треста „Полиграфкнига“. Москва,
Валовая, 28. Заказ № 76.

БИБЛИОТЕКА