

Акад. Н. Г. ХОЛОДНЫЙ

Возникновение жизни и первичные организмы.

I

Как возникла жизнь на земле? Вот вопрос, который занимает научную и философскую мысль в течение веков, с глубокой древности до нашего времени. Чем объясняется непреходящий и неослабевающий интерес к этому вопросу? Прежде всего, конечно, тем, что проблема возникновения жизни имеет громадное теоретическое значение: она теснейшим образом переплетается с коренными, принципиальными вопросами знания, научного мировоззрения, философии и даже религии. С другой стороны, как показала история науки, то или иное решение связанных с этой проблемой частных вопросов немедленно отзывалось и на различных сторонах практической деятельности человека. Достаточно указать хотя бы на знаменитую работу Пастера о самозарождении (1862), послужившую основой для развития консервной и бродильной промышленности и, что еще важнее, для выработки рациональных мер борьбы с заразными болезнями.

Литература, посвященная вопросу о возникновении жизни на Земле, огромна. Велико и число экспериментальных исследований, которые различными путями преследовали цель осветить тайну рождения жизни на нашей планете. Тем не менее от окончательного решения этой проблемы во всем ее объеме мы все еще очень далеки. Можно, однако, с уверенностью сказать, что за последние несколько десятилетий в этом направлении сделано гораздо больше, чем за все предшествовавшие века. Эти новейшие успехи связаны прежде всего с глубоким проникновением эволюционных идей во все отрасли естествознания и особенно с торжеством дарвинизма в биологии. С другой стороны, громадное значение имело здесь также развитие техники научного исследования, которое дало нам возможность проникнуть и в глубины межзвездных пространств, и в тайны явлений, происходящих в мельчайших, невидимых для невооруженного глаза живых существах.

На первый взгляд может показаться непонятным, какое отно-

¹ Доклад, прочитанный на пленарном заседании XII научной сессии Армянского филиала Академии наук СССР, посвященной 25-летию Великой Октябрьской социалистической революции, 13-го ноября 1942 г.

шение к проблеме возникновения жизни на земле имеют исследования звезд и межзвездных пространств. Однако, мы не должны забывать, что в свете идей диалектического материализма, которые для нас являются руководящими, жизнь представляет собой не что иное, как завершение определенного цикла эволюционных изменений косной, неживой материи. Материя же эта в различных точках мирового пространства в настоящее время переживает различные этапы своего развития. Те этапы развития материи, которые пройдены Землей в давно минувшие эпохи ее существования, мы еще и теперь можем наблюдать и изучать с помощью спектрального анализа на других космических телах—на солнце, на звездах нашей Галактики, на других планетах нашей солнечной системы. Вот почему особенно много ценнейших данных об эволюции вещества современная наука получила от астрофизики, из исследований посвященных вопросу о строении и химическом составе космических тел и окружающей их газовой оболочки.

В то же время прогресс наших химических знаний, в особенности бурный расцвет органической химии и биохимии, свидетелями которого мы являемся, в течение последних десятилетий дал нам новые опорные точки для суждения об эволюции материи вообще и живого вещества в частности. Следует попутно отметить, что и сама биохимия много выиграла от внесения в нее методов и идей учения об эволюции. Достаточно вспомнить, какие крупные успехи были достигнуты за последние годы в вопросе о генетической связи различных видов брожения или о развитии химизма дыхательных явлений.

Поскольку живое вещество всегда имеет коллоидный характер, особо следует подчеркнуть развитие химии коллоидов, которой мы обязаны значительным расширением наших знаний о структуре протоплазмы; без этих знаний нельзя, конечно, дать сколько-нибудь удовлетворительную картину эволюционных изменений материи в пробиотической и биотической фазах ее развития.¹

Таким образом, в настоящее время мы располагаем обширным и разнообразным фактическим материалом, с помощью которого можно до некоторой степени осветить отдельные этапы сложного и длительного процесса эволюции материи вплоть до появления на Земле первичных организмов. Конечно, та картина последовательных эволюционных изменений, которую мы при этом получаем, не может быть признана полной и изобилует гипотетическими построе-

¹ Эволюцию материи, если рассматривать ее в аспекте возникновения жизни, можно разделить на три фазы или периода:

1. Абиотический, или безжизненный период.
2. Пробиотический, в течение которого возникают и развиваются коллоидные образования, предшественники живых существ.
3. Биотический—период появления первичных организмов и дальнейшего их развития.

ниями. Это, однако, не умаляет ее научной ценности. Мы должны помнить, что гипотеза—один из неизбежных этапов в развитии каждой естественнонаучной проблемы. А имеющиеся пробелы будут, несомненно, заполнены с дальнейшим прогрессом науки.

II

Как было уже упомянуто, литература, посвященная вопросу о возникновении жизни на Земле, весьма обширна. Однако, большая часть ее представляет в настоящее время только исторический интерес. Новейшая сводка в этой области принадлежит советскому ученому А. И. Опарину. Его книга „Возникновение жизни на Земле“, вышедшая II изданием в 1941 году и переведенная несколько лет назад на английский язык в США, представляет собой выдающееся явление в научной литературе. Из нее можно почерпнуть ясное и достаточно полное представление о современном положении этой проблемы.

В мою задачу не входит, конечно, подробное изложение тех данных, которые можно найти в книге Опарина. Главная моя цель—поделиться некоторыми своими мыслями, наблюдениями и опытами, которые, как мне кажется, вносят кое-что новое в эту пока еще достаточно темную область естествознания.

Однако, чтобы мои мысли были правильно поняты, я должен в качестве введения процитировать отрывок из заключительной главы книги Опарина. Автор вкратце повторяет здесь основные выводы своей работы, развертывая перед читателем в немногих строках картину тех эволюционных изменений материи, которые привели к возникновению жизни на Земле.¹

„Отделившаяся от Солнца газовая струя послужила материалом для образования нашей планетной системы. Наряду 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 дру-

1. Употребляемый здесь Опариним термин «гедль», как синоним «коацервата», по моему мнению, может подать повод к неправильным представлениям о физико-химических свойствах коацерватных образований. Поэтому я позволил себе в нескольких местах заменить этот термин другими.

гими 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.) Наряду 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 систем. При этом органическое вещество сконцентрировалось в определенных пунктах пространства и отделилось от окружающей среды

более или менее резкой границей. Внутри коацервата 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“ коацерватов на скорость роста. Но при росте 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 возникать и такие изменения, которые обуславливали 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 коллоидной массы. 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.

Нетрудно видеть, что наиболее слабым и в то же время наиболее ответственным участком всего этого, во многом еще гипотетического построения является момент перехода от сложных, но еще неживых физико-химических образований коллоидной природы, или коацерватов, к простейшим организмам.

Какие изменения должны были произойти в структуре коацервата, в его химическом составе и динамике его взаимоотношений с окружающей средой на грани, отделяющей живую материю от косной? Чем отличались первичные организмы от последних своих предшественников, еще не обладавших всеми атрибутами живого организма? Для биолога эти вопросы имеют первостепенное значение. Точные и исчерпывающие ответы на них необходимы и для достижения той, пока еще далекой цели—синтеза простейших

живых существ,—о которой говорит Опарин в заключительных строках своей книги.

Для того, чтобы ответить на эти вопросы, мы должны прежде всего знать, что представляли собой пионеры жизни на Земле—первичные организмы. Однако, как раз здесь в наших знаниях имеется пробел, которого мы до сих пор еще не можем заполнить. Все так называемые простейшие живые существа, известные нам в настоящее время—амебы, бактерии, одноклеточные водоросли и т. п., могут быть названы простейшими только условно—по сравнению с другими современными организмами. В действительности же все они прошли длинный путь эволюции и от подлинных первичных организмов их отделяет целая пропасть. И по строению, и по степени дифференцировки, и по физиологическим своим отправлениям все современные протисты, бактерии и другие одноклеточные живые существа мало чем отличаются от клеток высших многоклеточных организмов. Следовательно, изучение их не может дать нам никакого представления о тех действительно примитивных существах, которые были первыми носителями жизни на Земле.

Спрашивается, возможно ли заполнить этот существенный пробел в наших знаниях. Конечно, нельзя сомневаться в том, что естественный отбор безжалостно сметал с лица земли первоначальные формы жизни, когда они должны были уступить место более совершенным организмам. Нельзя в то же время ожидать, что от них остался какой-нибудь след в палеонтологической летописи Земли: ведь первичные организмы, несомненно, еще не имели ни оболочки, ни скелетных образований. Однако, известны случаи, правда очень редкие, когда та или иная форма, которую считали давно вымершей, вдруг оказывалась еще живущей в каком-нибудь „укромном уголке“ современной природы. Так, напр., несколько лет назад у берегов Южной Африки рыбаки поймали рыбу, которая до тех пор была известна только по палеонтологическим находкам и считалась ископаемой. Невольно напрашивается мысль, что где-нибудь в неисследованных глубинах океана, подобно этой „ископаемой“ рыбе, может быть, живут еще и теперь прямые и сравнительно мало изменившиеся потомки первичных организмов.

Мысль, конечно, не новая. Вспомним хотя бы о знаменитом батибии, извлеченном со дна океана экспедицией Челленджера и названном в честь Геккеля *Bathybius Naeckellii*. Правда, при ближайшем исследовании оказалось, что батибий представляет собой просто неорганический коллоидный осадок, но вначале многие ученые, и в их числе Энгельс, были склонны видеть в этой находке подтверждение мысли, что и в современную эпоху на Земле могут существовать примитивные организмы, стоящие на грани между живой и мертвой материей.

Неудача с батибием настроила многих скептически, и, насколько мне известно, с тех пор никто не предпринимал больше систематических поисков с целью найти в окружающей нас природе живые существа, стоящие по своей организации ниже наиболее простых современных организмов—бактерий или амёб. Правда, когда были открыты фильтрующиеся вирусы и в особенности после того как Стэнли удалось получить один из них в виде кристаллов, многие высказывали мысль, что найдена, наконец, та форма материи, которая по степени своей организации стоит ниже живого вещества всех известных нам организмов, но в то же время обладает главнейшими свойствами протоплазмы—способностью к ассимиляции, росту, репродукции. Бойтнер (Beutner, 1939) высказал предположение, что первичной формой живого вещества, возникшего на нашей планете в процессе эволюции материи, были именно вирусоподобные тела, молекулы которых обладали способностью к самовоспроизведению за счет других органических соединений и которые, по его мнению, можно было отнести к саморегенерирующимся энзимам. Бойтнер, следовательно, разделяет точку зрения тех вирусологов, которые полагают, что молекулы вирусов можно рассматривать, как элементарные живые существа.

Однако, необходимо иметь в виду, что против такого взгляда выдвигаются очень серьезные возражения. И главное из них, на мой взгляд, заключается в том, что никому еще не удалось получить культуру вируса на искусственном питательном субстрате, а следовательно, и способность вирусов к ассимиляции, к усвоению органических веществ, не связанных с живой протоплазмой, остается недоказанной. А между тем, именно эта способность представляет собой наиболее характерную черту всякого живого существа в отличие от неживой материи. И если, напр., вирус мозаичной болезни, выделенный Стэнли из листьев табака, действительно обнаруживает „рост“ в клетках живого листа, то вполне возможно, что молекулы этого вещества синтезируются не самостоятельно, а при непосредственном участии живой протоплазмы растения. Это тем более вероятно, что и из листьев здоровых растений были недавно выделены высокомолекулярные белки, которые по своему молекулярному весу и по другим химическим свойствам стоят очень близко к вирусам.

Многие исследователи склоняются теперь к мысли, что вирусные белки—нуклеопротеиды представляют собой продукты деградации микроорганизмов, когда-то паразитировавших в клетках животных и растений. С этой точки зрения вирусы, очевидно, также не могут иметь никакого отношения к первичным организмам, так как паразитизм—явление сравнительно позднего происхождения.

Наконец, можно высказать и еще одно предположение о природе вирусов. Возможно, что эти белковые вещества представляют собой продукт каких-то патологических изменений в синтезе бел-

ков протоплазмы. Попадая в здоровую клетку, эти вещества направляют идущие в ней синтетические процессы в сторону образования все новых и новых молекул такого же точно белка. Этот белок не может быть использован протоплазмой пораженного организма и поэтому накапливается и отлагается в его клетках в виде балласта, что мы в действительности и наблюдаем. В конце концов, клетки с нарушенным обменом веществ постепенно истощаются и отмирают.

Как мы видим, к какому бы из этих воззрений на природу вирусов мы ни примкнули, ожидать от дальнейшего изучения их каких-либо данных, бросающих свет на вопрос о первичных организмах, у нас нет пока никаких оснований.

III

Возвратимся теперь к изложенным в начале этой статьи современным представлениям о химическом составе земной гидросферы и атмосферы в эпоху, непосредственно предшествовавшую появлению на Земле простейших живых существ, и посмотрим, нельзя ли из этих данных почерпнуть какие-либо указания на возможность существования первичных организмов в современной природе.

Как мы видели, к моменту появления на Земле первичных живых существ земная атмосфера содержала, кроме паров воды, значительное количество углеводов и аммиака, но была совершенно свободна от кислорода, азота и углекислоты. В ней, несомненно, присутствовали также пары различных, более сложных органических соединений—спиртов, альдегидов, органических кислот, возникших вследствие гидратации углеводов. Те же вещества находились в растворенном состоянии в воде океанов и более мелких водоемов, образовавшихся на земной поверхности после появления на ней суши. Эти более мелкие водоемы подвергались постепенному усыханию.¹ Вследствие этого во многих из них, а именно в тех, которые были лишены притока воды со стороны, концентрация растворенных органических веществ постепенно повышалась. Скоро она значительно превысила содержание тех же веществ в океанах, и, таким образом, именно здесь, в этих небольших и мелких стоячих водоемах, создались в первую очередь условия, необходимые для образования и развития предшественников жизни—коллоидных систем типа коацерватов. Этот процесс—образование коацерватов—едва ли мог происходить в океанах, а если и происходил, то в очень ограниченном масштабе—вследствие слишком низкой концентрации растворенных в них органических соединений.

Таким образом, естественно предположить, что средой, где

¹) Высыхание небольших и мелких водоемов могло происходить даже в атмосфере, насыщенной парами воды, благодаря разнице температур воды в этих водоемах и в океане: в мелких водоемах вода нагревалась лучами солнца сильнее, чем в крупных, и поэтому вода из них должна была перегоняться в эти последние.

возникли последние предшественники живых существ на Земле (назовем их для краткости пробионтами), были небольшие и неглубокие, постепенно усыхающие водоемы на берегах океанов и морей. По всей вероятности, период особенно бурного количественного роста и наиболее интенсивной дифференцировки коацерватных образований совпал с тем промежутком времени, когда прибрежные водоемы были близки к полному высыханию, так как именно тогда и концентрация реагирующих органических соединений в них достигла наибольшей величины.

Однако, как бы далеко ни зашел процесс дифференцировки и усложнения коллоидных коацерватных систем, все же они и в эту эпоху эволюции материи еще продолжали оставаться безжизненными образованиями. Для того, чтобы они могли переступить через грань, отделяющую мертвое от живого, для того, чтобы содержащаяся в них материя перешла на новую, высшую ступень своего бытия и достигла биотической фазы развития, необходимо было соответственно резкое, скачкообразное изменение всех условий окружающей среды. Такое радикальное изменение всего комплекса внешних условий было связано, несомненно, с окончательным высыханием прибрежных водоемов, с моментом, когда коацерватные образования, достигшие к этому времени уже большой сложности и разнообразия, внезапно оказались на обнажившемся дне водоема, на влажной поверхности выступивших из-под воды первозданных горных пород, причем вначале эта поверхность была покрыта только тонким слоем выпавших из раствора минеральных и, в меньшей мере, органических соединений.

Резкий, почти катастрофический переход к новым условиям существования сопровождался, несомненно, разрушением огромного количества коацерватных систем. Это разрушение, однако, не имело ничего общего с тем процессом распада, которому могли бы подвергнуться подобные коллоидные органические образования в современную нам эпоху. Они не могли быть поглощены уцелевшими коацерватами, ввиду отсутствия у этих последних способности „питаться“ сложными нерастворимыми в воде высокомолекулярными органическими соединениями. Но они не могли также подвергнуться и процессу минерализации, осуществляемому в настоящее время в аналогичных случаях бесчисленными микроорганизмами, так как никаких микроорганизмов на поверхности Земли еще не существовало: она находилась в состоянии первобытной стерильности. Следовательно, разрушение коацерватов, оказавшихся неспособными функционировать в новых условиях, сводилось к их высыханию и распадению на более мелкие части. Смешиваясь с выпавшим из раствора осадком минеральных соединений, эти остатки послужили основой для образования первобытной почвы, или точнее, первобытного ила, на поверхности которого теперь находились только уце-

левшие и способные к дальнейшему развитию коацерватные системы, уже обладавшие основными свойствами живых существ. Назовем их для краткости архебионтами.

Какими морфологическими и физиологическими признаками должны были обладать архебионты? По всей вероятности, они имели вид небольших неподвижных пленок слизистого или студенистого вещества, тонким слоем покрывавшего влажный субстрат. Из этого субстрата они могли получать, в основном, только воду и минеральные соли. Главным источником углерода и азота для этих первичных живых существ должна была служить теперь атмосфера, которая все еще содержала значительное количество органических соединений (в виде газов и паров) и аммиака. Те архебионты, которые смогли быстро приспособиться к этим новым условиям существования, выжили и послужили исходным материалом для дальнейшей работы естественного отбора.

Таким образом, не вода, а поверхность первозданных горных пород, покрытая тонким слоем ила и граничившая непосредственно с атмосферой, была колыбелью жизни на земле и первым местом обитания наиболее стойких и способных к дальнейшему развитию архебионтов.

Первоначальный субстрат, на котором обитали архебионты, также не оставался неизменным. Начались процессы выветривания подстилающей горной породы—отчасти под влиянием кислот, выделяемых живым веществом. Возник примитивный почвенный покров. Внешний вид земной поверхности постепенно усложнялся: она все более разнообразилась и дифференцировалась.

Параллельно шла дальнейшая дифференциация и в мире первичных организмов. Одни из них уносились атмосферными осадками в океаны и другие водоемы, где они продолжали эволюционировать, изменяясь под влиянием новой среды; другие постепенно вырабатывали способность использовать энергию солнечного света и начали переходить к кислородному дыханию; этот, более прогрессивный тип завоевывал все большие пространства на поверхности земли; наконец, третьи, оставшиеся верными исконному способу питания органическими составными частями атмосферы и, следовательно, наиболее стойко сохранявшие черты первичной организации живого вещества, должны были искать себе нового местообитания. Вытесняемые с поверхности почвы более сильными конкурентами, приспособившимися к использованию солнечного света, эти консервативные формы вынуждены были уходить вглубь почвы. Конечно, и здесь, в глубине почвенного покрова эволюционные изменения первичного населения Земли не прекращались. Но не подлежит сомнению, что именно в почве, благодаря своеобразию ее структуры, в отдельных ее участках дольше всего могли сохраниться условия, необходимые для поддержания жизни наиболее примитивных живых существ.

В самом деле, мы знаем, что и теперь еще, в современную геологическую эпоху, в недрах каждой почвы, если она богата органическими остатками и содержит достаточно влаги, всегда имеются небольшие участки, хорошо защищенные от притока кислорода, но изобилующие аммиаком и органическими веществами, часть которых находится здесь в виде паров или газов. Конечно, по своему происхождению все эти вещества не имеют уже ничего общего с составными частями первобытной земной атмосферы. Но от этого суть дела не меняется: все же в этих очагах анаэробнобиоза в почве имеются налицо все условия, отвечающие потребностям архебионтов. Вытесняемые отовсюду другими, более совершенными формами, эти первичные организмы только здесь, в почве, могли еще кое-где уцелеть, сохранив в сравнительно мало измененном виде свои морфологические, физиологические и биохимические особенности.

Таким образом, мы приходим к выводу, что в поисках наиболее примитивных форм жизни мы должны направить свое внимание не на ту стихию, где, по господствующим до сих пор представлениям, жизнь зародилась, т. е. не на воду, а на более позднее образование—на почву.

IV

Посмотрим теперь, нельзя ли в почвоведении, или точнее, в науке об обитающих в почве организмах, найти какие-либо данные, подтверждающие наш вывод о том, что среди этих организмов нужно искать и можно найти формы, более примитивные, чем все известные нам до сих пор обитатели Земли. При этом речь может идти, очевидно, только о микроорганизмах почвы. Можно с уверенностью утверждать, что переселение архебионтов в почву, если оно когда-либо происходило, должно было сопровождаться значительным их измельчением, превращением их в микроорганизмы.

К сожалению, наши знания о микрофауне и микрофлоре почвы еще далеко не полны. Объясняется это тем, что до недавнего времени в нашем распоряжении не было надежных методов для изучения почвенных микроорганизмов в их естественной среде и в естественных условиях. Долго пользовались здесь методикой, заимствованной из медицинской микробиологии. Однако, она оказалась мало пригодной в этой области исследования. И только 17 лет назад, благодаря работам Виноградского (1925), произошел серьезный сдвиг в сторону выработки новой, более рациональной методики. В основу ее было положено стремление наблюдать и изучать почвенные микроорганизмы в условиях, максимально приближающихся к тем, которые имеются в почве. Сюда же относятся методы, дающие возможность наблюдать микробное население почвы в естественной их среде, непосредственно в почве. За последние 15 лет мною было предложено для этой цели три различных метода.

Наиболее простой из них, так наз. метод пластинок обростания,

заключается в следующем. В почве делается вертикальный надрез ножом, и в него плотно вставляется чистое предметное стекло так, чтобы с обеих сторон к этому стеклу плотно прилегала почва. В таком положении стекло оставляют на срок от трех дней до нескольких недель. За это время поверхность стекла обрастают различные почвенные микроорганизмы. Затем стекло извлекают из почвы, соблюдая известные предосторожности, препарат фиксируют подсушиванием, смывают с него более грубые комочки почвы, наконец, окрашивают и исследуют под микроскопом.

Другой метод—проращивание почвенной пыли на поверхности чистого стекла во влажной камере. При этом около каждой почвенной пылинки появляются колонии тех микроорганизмов, клетки которых на ней находились. Их можно наблюдать в живом виде, а также после фиксации и окрашивания.

Наконец, третий метод—почвенных камер, состоит в том, что между предметным и покровным стеклом помещают тонкий слой исследуемой почвы. В центре этого слоя с помощью особого прибора делается небольшая цилиндрическая полость, ограниченная сверху и снизу поверхностями стекол. В эту полость постепенно вырастают почвенные микроорганизмы, преимущественно микроскопические грибки и актиномицеты, и здесь их можно наблюдать в живом состоянии.

С помощью этих несложных методов удастся составить себе довольно полное представление о микроскопическом населении почвы. Если исследовать почву, сравнительно богатую питательными веществами, то наблюдателя поражает прежде всего разнообразие населяющих ее микроорганизмов. В то же время бросается в глаза резкая зависимость характера этого населения от внешних условий: влажности, температуры, большего или меньшего доступа кислорода, наличия тех или иных питательных веществ.

Огромное большинство микроорганизмов, открываемых в почве описанными методами непосредственного наблюдения, относится к бактериям, актиномицетам, различным семействам грибов и к простейшим (Protozoa). Многие из них, несомненно, принадлежат к видам, еще не изученным и не выделенным в чистой культуре, но принадлежность их к тем или иным группам микроорганизмов, установленным современной систематикой, не вызывает сомнений. Однако, наряду с этими более или менее банальными формами, составляющими, так сказать, основной биофон исследуемых препаратов, изредка, как исключение, встречаются формы, при виде которых наблюдатель, даже отлично знакомый с миром микроскопических живых существ, невольно становится втупик. Их совершенно невозможно отнести к какой-либо из известных систематических единиц, на которые мы в настоящее время делим бактерии, актиномицеты и другие простейшие организмы. В то же время принадлежность их именно к живым существам в большинстве случаев едва ли мо-

жет возбуждать сомнение, несмотря на всю примитивность их организации. Приведу несколько примеров.

При исследовании в живом состоянии препаратов почвенной пыли сравнительно часто мне встречались тонкие нити слизистой консистенции, протянутые от одного комочка почвы к другому, соседнему, и несущие в средней своей части один или два узелка. Эти узелки отличались более высоким показателем преломления, и форма их довольно медленно, но непрерывно изменялась. Однажды мне посчастливилось видеть, как один из таких узелков раздулся, принял форму пузырька и внезапно лопнул, после чего на его месте можно было наблюдать слабо преломляющий свет неподвижный комочек, как-будто состоящий из свернутой в клубок тонкой нити. Изучить это загадочное образование ближе мне пока не удалось.

Другой пример. На пластинках обрастания и изредка на препаратах почвенной пыли кое-где мне попадались тончайшие, более или менее хорошо красящиеся пленочки, из которых одни имели амебовидную форму и альвеолярную структуру, другие напоминали перисто-рассеченный ланцетовидный лист. Эти образования иногда достигали довольно значительных размеров, но и в этих случаях в них нельзя было заметить ядер или каких-либо других включений: они состояли из совершенно гомогенного вещества. Мне они невольно приводили на память данное Геккелем описание первичных живых существ, названных им монерами. Можно было найти в них также сходство с коацерватными образованиями, изображения которых имеются в работах Бунгенберг де Йонга.

Наконец, упомяну еще о встречающихся очень редко на пластинках обрастания веретеновидных тельцах, также хорошо красившихся и несколько напоминавших описанные недавно Стэнли кристаллы вируса табачной мозаики. Они, повидимому, обладали способностью к росту, так как самые мелкие из них и самые крупные были связаны между собой незаметными переходами.

Таковы те, пока немногочисленные данные, которые я могу привести в подтверждение мысли о существовании в почве организмов, более примитивных по своему строению, чем все другие известные нам до сих пор живые существа. Я убежден, что дальнейшее, более глубокое и внимательное изучение почвы с помощью описанных здесь и других методов современной микробиологии значительно расширит наши знания в этой области и приблизит нас к решению вопроса о первичных организмах.

V

Обратимся теперь к физиологической стороне вопроса о первичных организмах. Попробуем прежде всего выяснить, нельзя ли в данных, относящихся к физиологии и биохимии почвенных микроорганизмов, почерпнуть какие-либо указания относительно способа питания и других физиологических функций первичных живых существ.

Как мы видели, наиболее вероятно предположение, что первичные организмы—архебионты—были приспособлены к воздушному питанию: они получали из воздуха углерод в виде готовых органических соединений, в первую очередь углеводов, и азот в виде аммиака. Твердый субстрат, на котором они обитали, служил для них только источником минеральных веществ и частично воды. Если это предположение правильно, то можно ожидать, что способностью к воздушному питанию, к поглощению из атмосферы готовых органических веществ, в том числе и нерастворимых в воде углеводов, должна быть наделена протоплазма многих сравнительно простых почвенных микроорганизмов, являющихся потомками архебионтов. В самом деле, трудно себе представить, чтобы эта способность могла выработаться у организмов, которые возникли в воде и, следовательно, с самого начала были приспособлены к питанию веществами, в ней растворенными. Ведь для того, чтобы поглощать из воздуха соединения, нерастворимые в воде, протоплазма должна обладать особым механизмом, отличным от того, который служит для поглощения воды и растворенных в ней соединений.

Эти мысли побудили меня в последние годы моего пребывания в Киеве поставить ряд опытов, в которых мне помогали мои сотрудники по кафедре микробиологии Киевского университета. Большинство наших опытов было поставлено следующим образом. На поверхности кремнекислого геля, содержавшего только минеральные соли, помещались небольшие комочки почвы. Чашки с засеянным почвой гелем ставились во влажную камеру, в воздухе которой находилась незначительная примесь исследуемого углеводорода или другого органического соединения. Если через некоторое время около комочков почвы появлялись колонии микроорганизмов, то из них делался отсев на такую же среду и выделенные микроорганизмы культивировались в воздухе такого же состава. Затем они изучались в морфологическом и физиологическом отношениях.

Кроме того, часть опытов была проведена с чистыми стеклами, поверхность которых покрывалась почвенной пылью. Эти стекла также помещались во влажную камеру, содержащую пары того или иного органического вещества и аммиака.

Из испытанных нами углеводов наилучшие результаты дал нафталин. Оказалось, что в почвах широко распространены бактерии, способные использовать это вещество как питательный и дыхательный материал. Интенсивное развитие бактерий за счет нафталина говорит о легкости, с какой проникает в клетку это нерастворимое в воде соединение. Менее яркие, но все же удовлетворительные результаты дали метан и его высшие летучие гомологи. Этиловый спирт в присутствии аммиака отлично усваивался различными микроорганизмами, развивавшимися прямо на стекле из почвенной пыли. Не менее хорошо усваивались из воздуха различные

другие спирты, за исключением метилового, а также ацетон и некоторые органические кислоты.

В связи с этими опытами интересно отметить, что, как указывает Опарин, и для первичных организмов источником углеродистого питания „должны были служить соединения лишь с частично гидроксильрованными углеродными цепями, сравнительно богатые группами CH_3 и CH_2 , а нередко и содержащие в своей молекуле двойные связи между углеродными атомами“.

Все эти опытные данные представляют известный интерес, как косвенное подтверждение правильности нашего предположения о способе питания архебионтов. Вместе с тем они приводят нас к мысли о возможности искусственного накопления в почве тех микроорганизмов, которые по способу питания ближе всего стоят к первичным обитателям почвенного покрова нашей планеты,—накопления их путем создания особо благоприятных для них внешних условий и подбора элективных сред. В частности должен быть исключен кислород, или по крайней мере затруднен его приток. К сожалению, постановке этих опытов помешала начавшаяся война и эвакуация Киева.

Насколько можно судить по полученным нами данным, питание микроорганизмов газами и парами гораздо шире распространено в природе, чем это думали до сих пор. Другие мои опыты, на которых я не могу здесь подробно останавливаться, показали, что многие микробы довольствуются таким ничтожным содержанием в воздухе органических веществ, которое с трудом может быть обнаружено самыми тонкими аналитическими методами. Если, например, поместить в одну и ту же влажную камеру препарат почвенной пыли на чистом стекле и 2—3 спелых яблока, то запаха этих яблок или, точнее, тех летучих органических соединений, которые в неувовимо малых количествах выделяются ими в воздух, достаточно, чтобы вызвать обильный рост некоторых почвенных микроорганизмов, в особенности актиномицетов. Еще более роскошный рост наблюдается на препаратах, помещенных в камеру, где находятся прорастающие семена некоторых растений. Повидимому, и источников образования летучих органических соединений, пригодных для питания микроорганизмов, в окружающей нас природе гораздо больше, чем мы до сих пор подозревали.

В связи с этими наблюдениями необходимо отметить, что в период появления на Земле архебионтов содержание в земной атмосфере различных органических веществ, по всей вероятности, было еще сравнительно велико. Однако, по мере того как первичные организмы размножались, они концентрировали в своих телах все больше и больше поглощаемых из воздуха органических соединений и количество этих последних в атмосфере постепенно уменьшалось. Таким образом, в более поздние эпохи своего существования архебионты должны были довольствоваться уже только теми,

крайне незначительными примесями органических веществ, которые попадали в воздух, главным образом, как продукты различных биологических процессов. Не исключена возможность, что именно здесь, в этой исторически сложившейся способности позднейших архебионтов питаться летучими органическими соединениями при крайне малом содержании их в воздухе—нужно искать корни удивительной приспособленности современных микроорганизмов к поглощению и усвоению ничтожнейших количеств органических газов и паров, которая только что была мною отмечена.

Все сказанное, *mutatis mutandis*, относится и к аммиаку, содержание которого в первичной атмосфере также должно было постепенно снижаться.

VI

Подведем главнейшие итоги.

1. На основании всей совокупности современных астрофизических и химических знаний можно считать весьма вероятным, что эволюционные изменения материи, обусловленные, в основном, медленным снижением температуры Земли, привели к образованию на ее поверхности органических соединений, постепенно усложнявшихся вплоть до возникновения веществ, подобных белкам.

2. Эти высокомолекулярные протеиноподобные органические соединения образовали коллоидные растворы, достигшие наиболее высокой концентрации в небольших усыхающих водоемах, которые появились на Земле после образования суши.

3. В этих водоемах вследствие взаимодействия между различными в физико-химическом отношении органическими коллоидами возникли коацерваты—коллоидные образования, не смешивающиеся с водой и обладающие некоторой структурой. Постепенно видоизменяясь, они дали начало пробионтам—последним предшественникам первичных живых существ.

4. Переход от пробионтов к архебионтам, простейшим организмам, произошел в момент высыхания водоемов, содержащих коацерваты,—в связи с резким изменением всего комплекса внешних условий,—и сопровождался разрушением большей части существовавших в это время коацерватных систем.

5. Таким образом, колыбелью жизни на Земле была, по всей вероятности, поверхность обнажившегося из-под воды дна мелких водоемов, и первые этапы своего эволюционного развития архебионты проходили не в воде, а на поверхности влажного, но твердого субстрата.

6. В связи с этим архебионты были приспособлены главным образом к воздушному питанию: необходимые им углеродистые и азотистые соединения они получали из окружающей атмосферы—в виде различных органических веществ (в первую очередь углеводородов) и аммиака. Источником энергии для них вначале могли быть

только анаэробные процессы—ввиду отсутствия в атмосфере свободного кислорода.

7. Появление первых организмов, способных к фотосинтезу, сопровождавшемуся выделением свободного кислорода, было причиной вытеснения архебионтов с поверхности образовавшегося к этому времени почвенного покрова в его глубину, где они могли найти условия, отвечающие их физиологическим потребностям. Переселение в эту новую среду сопровождалось значительным измельчением архебионтов—превращением их в микроорганизмы.

8. Весьма вероятно, что и в современную нам эпоху среди микроскопических обитателей почвы имеются прямые потомки архебионтов, сохранившие основные черты их морфологической и биохимической организации.

9. Применяя методы непосредственного наблюдения почвенных микроорганизмов в их естественной среде, а также элективные культуры, можно проверить правильность этого предположения и, в случае удачи, составить себе более полное и точное представление об организмах, бывших пионерами жизни на Земле.

10. Возможно, что наличие у современных почвенных микроорганизмов способности к воздушному питанию различными органическими соединениями, в том числе и нерастворимыми в воде углеводородами, коренится в их наследственной связи с архебионтами.

Вот некоторые из выводов, к которым приводит нас анализ проблемы возникновения жизни на Земле, если к ней подходить с точки зрения биолога, интересующегося в первую очередь вопросом о первичных организмах.

Как мы видим, в этой области нет еще почти ничего твердо установленного, и мы вынуждены довольствоваться пока более или менее вероятными предположениями. Но важно уже то, что эти предположения в значительной своей части доступны экспериментальной проверке, что они будят мысль и ведут нас к новым исследованиям. На этом пути—от гипотезы через экспериментальную ее проверку к выяснению истины—наука преодолела уже немало трудностей. И как ни велики трудности, стоящие перед исследователем, когда он подходит к проблеме возникновения жизни, у нас нет никаких оснований считать их непреодолимыми. Проблема возникновения жизни на Земле—одна из важнейших проблем современной биологии—должна быть решена, и я убежден, что советской науке в решении этой трудной, но увлекательной задачи будет принадлежать почетная роль.

N. G. Cholodny

The origin of life and the Archebionts

Summary

The author, after making a review of the modern theories of life and of the results of his own researches, comes to the following conclusions:

1. On the basis of all the modern astrophysical and chemical knowledge, it can be regarded very probable that the evolutionary changes of the matter, which chiefly depended on the slow lowering of the temperature of the Earth, have led to the formation of organic compounds on its surface, which gradually become complicated until the origination of protein-like substances.

2. These high-molecular protein-like organic compounds have formed colloid solutions, reaching the highest concentration in small drying stagnant water-bodies, which have appeared on the Earth after the formation of the dry land.

3. In these stagnant water-bodies as a result of interaction between physico-chemically different organic colloids have risen coacervates—colloidal-formations which did not dissolve in water and possessed a certain structure. By gradual transformation they have given rise to the *probiants*—the last predecessors of the original life beings.

4. The transformation of the *probiants* to the *archebionts*—the most primitive organisms, took place at the moment of drying off of the stagnant water-bodies containing coacervates—in connection with an abrupt change of the whole complex of environmental conditions and was attended with the destruction of a great part of existing coacervative systems.

5. Thus, it is very probable that the cradle of the life on the Earth has been the bottom surface of small stagnant water-bodies which was denuded from beneath the water. Therefore the archebionts have passed the first stages of their evolutionary development not in the water, but on the surface of the moist solid substratum.

6. In connection to this, the archebionts have been adapted mainly to aerial nutrition. The carbon and nitrogen compounds, necessary for them, they secured from the surrounding atmosphere in the form of different organic substances (chiefly hydrocarbons) and of ammonium. A source of energy for them at the beginning could be only anaerobic processes, because the atmosphere did not contain free oxygen.

7. The appearance of the first organisms capable to carry on photosynthesis attended with the production of free oxygen, was the cause of excluding the archebionts from the surface of the soil crust, which was already formed at that time, to the deeper layers of the soil where

they could find conditions suitable to their physiological necessities. As a result of this migration, under the influence of the new environment, the archebionts grew smaller and became transformed into microorganisms.

8. It seems quite probable that at the present time also, among the microscopic inhabitants of the soil, there are the direct progeny of the archebionts which are keeping the main features of their morphological and biochemical organization.

9. Using the methods of direct observation of the soil microorganisms in their natural environment, as well as the elective cultures, this assumption can be verified and, in case of success, a more complete and exact conception can be worked out about the organisms which have been pioneers of life on the Earth.

10. It is possible that the capability of the modern soil microorganisms to the aerial nutrition with different organic compounds, especially with the water insolubles hydrocarbons, shows their hereditary relations with archebionts.