

Т.Николов
**Долгий путь
ЖИЗНИ**



Т.Николов Долгий путь жизни

Перевод с болгарского
канд. мед. наук Л. Н. Шолпо

под редакцией
д-ра биол. наук И. С. Барскова



МОСКВА «МИР» 1986

ББК 26
Н63
УДК 551.1

Николов Т. Г.

Н63 Долгий путь жизни: Пер. с болг.–М.:
Мир, 1986.–167 с., ил.

В книге известного болгарского палеонтолога в увлекательной форме рассказывается о возникновении и развитии жизни на Земле. Показано усложнение организации формы жизни, постепенное завоевание живыми существами все более обширных мест обитания. Книга оставляет глубокое убеждение, что жизнь и ее разумные формы прошли чрезвычайно сложный и длинный путь развития. Оживляют книгу многочисленные экскурсы автора в различные области культуры: литературу, поэзию, живопись.

Для геологов всех специальностей и широкого круга читателей, интересующихся историей жизни на Земле.

Н 1904040000-172 120-86, ч. 1 ББК 26
041(01)-86

Редакция литературы по геологии

© Тодор Георгиев Николов
с/о Jusautor, Sofia, 1983
© перевод на русский язык,
«Мир», 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Среди научно-популярной литературы о развитии жизни на Земле, пожалуй, наибольшей известностью по всему миру пользуются великолепные альбомы красочных картин чехословацкого художника З. Буриана с комментариями крупных чехословацких ученых. Люди разных поколений испытали на себе их эмоциональное и эстетическое воздействие, способствующее приобщению к знанию истории жизни на нашей планете. Это важный, но вместе с тем лишь первый шаг в пропаганде понимания бесконечного разнообразия живых форм, возникавших на длительном пути, который прошла Жизнь от возникновения на первых этапах образования Земли до осознания ею смысла своего существования. Неизменно благожелательный и благодарный отклик на популярную литературу такого рода создал вокруг науки о прошлой жизни некий идеально-романтический ореол, вызывая даже среди ученых мнение о палеонтологии как о науке «украшательской» в отличие от теоретических (например, физики) и практических наук (например, кораблестроения). Это, однако, лишь очень поверхностный взгляд на то, что изучает и как работает палеонтология.

Современная палеонтология – это отнюдь не реконструкция вымерших дикинов, это целый цикл наук о прошлой жизни, использующих в своих исследованиях весь арсенал современных аналитических методов, включая методы молекулярной биологии и математическое моделирование. Новые подходы к сбору и изучению ископаемых остатков самым кардинальным образом меняют представления о неполноте палеонтологической летописи, позволяют получать такую информацию о вымерших организмах и среде их жизни, которая ранее казалась невероятной. Можно назвать, к примеру, открытие прекрасной сохранности ископаемых микробов возрастом более двух миллиардов лет и обнаружение биологически активных белковых макромолекул в раковинах моллюсков, живших около 300 миллионов лет назад. Еще один пример – привлечение в последние годы особое внимание благодаря средствам массовой информации исследования кризисных явлений в развитии биосферы прошлого («великое вымирание» на границе мезозоя и кайнозоя, которое было вызвано, как полагают некоторые ученые, столкновением Земли с астероидом или кометой). Палеонтология с ее многочисленными ответвлениями в сферу других наук (вспомним такие ее разделы, как палеобиохимия, палеобиогеохимия, палеобиогеография и др.) все более становится комплексом научных знаний о прошлом биосферы, и мы все более осознали, что исследование прошлого – это окно в будущее.

Долог путь жизни на нашей планете, и как мало у нашего современника за спешкой повседневных дел времени, чтобы задуматься над тем, «кто мы, откуда мы, куда идем» – над извечными вопросами, в разгадке которых, возможно, кроется смысл существования Человека, Человечества и самой Жизни.

Книга, которую вы держите в руках, рассказывает о возникновении и становлении основных факторов и носителей жизни на нашей планете, о тех проблемах, которые решала живая материя, совершенствуя формы и способы своего существования. В книге в какой-то мере содержится ответ на наши вечные вопросы. Написанная в живой манере, где ход научной мысли переплетается со стихами, а таблицы и иллюстрации вымерших форм с репродукциями картин старых живописцев, книга Годора Г. Николова несет в себе большой эмоциональный заряд. Ее автор – один из крупнейших болгарских палеонтологов, член-корреспондент Академии наук Болгарии, заведующий кафедрой палеонтологии Софийского университета им. Климента Охридского – хорошо известен ученым нашей страны своими трудами по палеонтологии и стратиграфии мезозоя, по общим вопросам палеобиологии. Им написан ряд учебников и учебных пособий, по которым учатся болгарские студенты. В этой книге, предназначенной для массового читателя, ярко раскрываются новые грани дарования То-

дора Г. Николова как популяризатора науки, которой он посвятил свою жизнь. Своим рассказом он сумел выразить волнующую причастность каждого из нас к общему потоку Жизни, показать наше место в этом потоке и нашу ответственность за то, чтобы он не прерывался.

Строго научное описание основных этапов развития жизни на Земле и удачный подбор иллюстраций позволяют рекомендовать книгу «Долгий путь жизни» более специальному читателю. Она может служить ценным учебным пособием в школах, в кружках любителей природы, в техникумах геологического и естественнонаучного профиля и даже в вузах, где читаются сокращенные курсы палеонтологии.

И. Барсков

ПРЕДИСЛОВИЕ

Тихим утром мы с кинооператором стоим на берегу моря и ждем появления сильной морской волны. Мы хотим показать вечную стихию Мирового океана и незатихающую борьбу суши и воды, ритмичное чередование пластов в прибрежных обрывах и непрерывное движение волн. Они разбиваются о скалы и возвращаются назад, чтобы собраться с силами и снова броситься на берег. Их бег непрерывен и неутомим, как время и жизнь, а пласты безмолвно принимают непрекращающиеся удары. Мой взгляд привлекает то безбрежная морская ширь, то зелень морского берега. У меня такое чувство, будто сам воздух пропитан жизнью.

В это необыкновенное теплое утро, когда мы сидим на морском берегу, в моей памяти всплывает картина Поля Гогена «Откуда мы? Кто мы? Куда идем?» Эти вопросы задают себе гогеновские островитяне. Подобные вопросы я слышу от кинооператора и чувствую, что мной овладевает странное ощущение: разве не похожи те пласты, на которых останавливается мой взор, на страницы книги? И неужели эти каменные страницы действительно немые, и мы не сумеем прочесть каменную летопись нашей планеты?

Я вспоминаю, что несколько лет назад в тишине кабинета в Институте палеонтологии в Париже я прочел текст знаменитой лекции Томаса Гексли за 1854 г. «Об образовательной ценности естественно-исторических наук». Меня особенно привлекла одна яркая мысль, которую попытаюсь передать по памяти: для человека, не знакомого с естественной историей, пребывание среди природы подобно посещению художественной галереи, заполненной удивительными произведениями искусства, 90% которых повернуты лицом к стене. Познакомьте его с основами естественной истории – и вы снабдите его путеводителем к этим шедеврам, достойным

быть обращенными к жаждущему знания и красоты человеческому взгляду.

Этому образному сравнению Т. Гексли уже более ста лет, но его мысль столь же актуальна и сегодня. Гексли прочитал свою лекцию в додарвиновское время, когда животные и растения рассматривались как «нечто данное», без прошлого и без будущего. После публикации капитального труда Чарлза Дарвина в 1858 г. науки о жизни получили исключительное развитие. Возникла необходимость изучения долгой истории развития жизни на Земле.

В 1946 г. в спокойной академической атмосфере Принстонского университета два великих ученых – Джон Бернал и Альберт Эйнштейн – вели разговор о важнейших элементах жизни. Позже, в период работы над книгой о происхождении жизни, Бернал отмечает: «Жизнь содержит элемент, логически отличный от элементов физики, но совсем не мистический, – элемент историчности. Все явления, которые изучает биология, образуют непрерывную цепь событий, и всякое следующее звено может быть объяснено познанием предыдущего. Единство жизни обусловлено ее историей и, следовательно, является отражением ее происхождения».

Жизнь заполняет все уголки нашей планеты. Океаны, моря, озера, реки, горы, равнины, пустыни, даже воздух населены живыми существами. Миллиарды лет жизнь шествует по Земле как уникальная самоорганизующаяся система. Она знала периоды расцвета, исторических испытаний и тяжелых кризисов, прежде чем достигла в наши дни своего великолепного богатства. Сегодня науке известно около 4,5 млн. видов животных и растений. Предполагается, что за всю историю жизни на Земле существовало около 4,5 млрд. видов животных и растений.

Как же появились эти виды? Во все ли эпохи истории Земли растительный и жи-



П. Гоген. Откуда мы? Кто мы? Куда идем? (фрагмент)

вотный мир был таким, как сейчас? Многие задавали себе эти вопросы.

Для науки очевидно, что современный животный и растительный мир представляет собой лишь обложку той великой книги, которую изучает палеонтология. Земные пласты – это каменная летопись геологической истории нашей планеты. Окаменевшие останки живших некогда существ, которые содержатся в этих пластах, записали историю своей эволюции и ее связь с изменениями окружающей среды. Вполне обоснованно Гёте писал: «Природа – единственная книга, всякая страница которой полна глубокого содержания».

На страницах этой книги рассказывается о долгом пути жизни на Земле, прослеженном по каменной летописи, по следам древних героев повести жизни на нашей планете. Каждый в отдельности эти следы дают мало информации, но в совокупности достаточно полно раскрывают картину огромного и пленительно-го разнообразия органического мира на протяжении 3,5 млрд. лет истории Земли. Вместе с тем они раскрывают большую драму, волнующие действия которой повторяются вновь и вновь с новыми действующими лицами. Прошлое живет в

настоящем, настоящее обязано своим существованием прошлому.

Не будем забывать, что законы природы действуют и на нас. Надо почаще вспоминать одну мысль Сирано де Бержерака: «Нам кажется, что природа любит человека больше, чем капусту, потому что это льстит нашему воображению».

Долгий путь жизни на Земле – это урок для всех. И уж если человек считает себя любимым детищем природы, он должен знать этот урок и помнить, что древние существа, которые не смогли приспособиться и не соответствовали изменяющимся факторам окружающей среды, заполняют ныне своими скелетами палеонтологические музеи.

Я старался доступно и точно отразить новейшие факты и взгляды на эволюцию жизни. Изложение в книге основано на точной хронологии с акцентом на узловых моментах и тенденциях эволюции.

Убеденный в правоте Ф. Шиллера, который сказал: «Нет, никогда мудрость не противоречила природе», я отдаю эту книгу в руки читателя с единственным пожеланием – обращайтесь назад, к прошлому, когда думаете о будущем.

Варна – Елена
Май 1980 г.



1. ВРЕМЯ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЧАСЫ

Время – канва, по которой
вышита жизнь.

С. Ричардсон



ГОДЫ – СЛЕДЫ И ДОКУМЕНТЫ

Человек часто склонен обращаться к прошлому, поскольку в нем скрыты многие его сокровенные тайны. Обращение к истории всегда связано с представлением о неумолимом ходе времени, однако немногие имеют ясное представление о долголетию мира, в котором мы живем. В наш космический век почти никто не удивляется, когда слышит о «миллионах световых лет», которые отделяют нас от других галактик. По-видимому, в представлении человека расстояние, выраженное понятием «световой год», чаще всего связано с будущим. А годы прошлого прямо выражают течение времени. Как их сосчитать, каковы следы и документы, по которым можно измерить истекшее время?

Обычно историк восстанавливает картину и атмосферу прошлого по документам, написанным на бумаге, пергаменте или камне. Так освещаются события, отделенные от нас сотнями лет. Археолог восстанавливает условия жизни людей и характер человеческой культуры по остаткам орудий труда и быта: наконечникам стрел, глиняным сосудам, украшениям, следам человеческой деятельности и пр. Это проливает свет на древнейшую историю человечества, измеряемую тысячелетиями. Геолог – брат историка и археолога, но он изучает следы в земных пластах и использует методы, которые позволяют проникать в тьму геологических эпох, отстоящих от нашего времени на миллиарды лет.



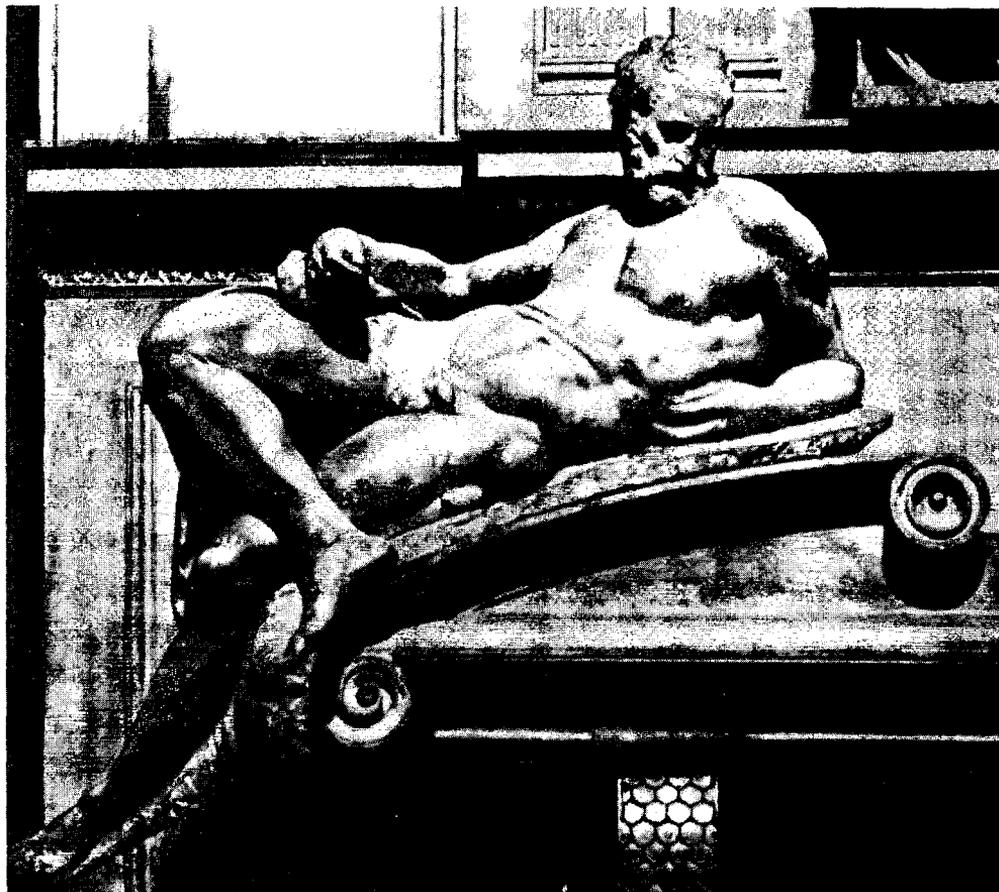
Микеланджело. Утро

Сущность этих трех наук — истории, археологии и геологии — пронизана ходом времени, но масштаб во взгляде на прошлое различен. Наглядным примером этого может быть один разговор между тремя друзьями — историком, археологом и геологом. Историк рассказал, что прочел древние документы 150-летней давности. Археолог говорит, что в последней археологической экспедиции он нашел керамические сосуды возрастом 5 тыс. лет, которые являются удивительным свидетельством древности мира. «О! — восклицает геолог — в Южной Болгарии есть горы, возраст которых насчитывает несколько миллионов лет». Этот разговор, естественно, придуман добрыми друзьями и популяризаторами геологии; мы не претендуем на распо-

ложение трех исторических наук в иерархическом соподчинении. Этот вымышленный разговор — пример вечности времени, отдельные отрезки которого исследуют разные науки.

В истории человеческой цивилизации, пожалуй, никто не сумел так образно представить идею течения времени пластичным языком изобразительного искусства, как гениальный Микеланджело. В его известной скульптурной композиции в капелле Медичи во Флоренции в фигурах «Вечер», «Утро», «День» и «Ночь» неповторимо переданы одна из глобальных тайн и характернейшее свойство времени — вечное движение и постоянная смена циклов.

В природе известны некоторые быстрые или даже взрывные геологические



Микеланджело. Вечер

явления: землетрясения, извержения вулканов, оползание огромных скальных масс, но чаще геологические процессы протекают медленно. Поэтому их невозможно вообразить, исходя из повседневных человеческих представлений о времени. Заметим, что геологи считают молодыми горы, возраст которых измеряется миллионом лет.

Но даже возраст слоев Земли, выраженный миллионом лет, нам, живущим всего одно мгновение по сравнению с этим временем, так же трудно представить, как и расстояния, измеряемые в световых годах. Как скорость света или размеры атома, эти величины с большим трудом воспринимаются обыкновенным человеком, поскольку они не связаны с чем-то известным и легко объяснимым.

Представим себе, что африканский континент постепенно продвигается на

Европу. Разумеется, нет причин беспокоиться, поскольку этот процесс очень медленный. Однако геологи доказали это явление, потому что хотя и очень жаль, но наступит время, когда исчезнут знаменитые средиземноморские пляжи.

10 лет назад на исследовательском судне «Гломар Челленджер» был выполнен разрез через Средиземное море. Руководители международной экспедиции Уильям Райн из Ламонтской геологической обсерватории Колумбийского университета и Кеннет Хсю из Цюрихского университета на основе этих материалов опубликовали интересные данные по новейшей (15-20 млн. лет) истории Средиземноморского бассейна. Эта история записана в осадочных толщах на дне моря. Они свидетельствуют, что около 15 млн.

лет назад Средиземное море было широко открыто к Атлантическому и Индийскому океанам. 10 млн. лет назад началось сокращение площади моря, и оно оказалось отрезанным от двух океанов. Изоляция была полной и сопровождалась интенсивным испарением морской воды. Это обусловило образование мощных слоев соленосных осадков, которые повсеместно покрывают более древние отложения Средиземного моря.

Согласно Райну и Хсю, на месте пересыхающего моря возникла впадина глубиной до 5 км. Постепенно в западной ее части образовался проток, через который хлынули атлантические воды. В самом Средиземном море, между Испанией и Марокко, с помощью шаров-зондов ученые обнаружили свидетельства сильной эрозии морского дна, относящейся к этому времени.

Результаты зондирования Средиземного моря показывают, что его экватория постепенно сокращается в результате сближения Африки и Европы. Об этом свидетельствует также тот факт, что к югу от Греции, в 240 км от острова Тир, молодые отложения перекрываются более древними образованиями. Исключительно интересным было обнаружение поднятия морского дна, которое прослеживается субпараллельно в восточной части Средиземного моря. Это поднятие перекрывается отложениями нильского ила, возраст которых 2 млн. лет. Следовательно, оно совсем молодое. В настоящее время этот вал препятствует распространению нильского ила на север. Деформация морского дна в этой области намного сильнее, вследствие чего поднятие выступает над уровнем моря и образуются острова. Образование гор происходит в течение миллионов лет, а процесс формирования больших океанских понижений продолжается не менее 100 млн. лет.

Наши знания о геологических процессах основаны на наблюдениях за временной последовательностью различных событий, которая прослеживается в пластах, образующих земную кору. Таким образом, сама сущность геологии пронизана хронологией. Подобно человече-

ской памяти, земные пласты хранят сведения о миллионах событий. Но геологическая летопись, как и человеческая память, имеет свои слабые стороны.

В десятой главе «Происхождения видов» великий Ч. Дарвин пишет: «Я смотрю на геологическую летопись как на историю мира, сохранившуюся неполностью, написанную изменяющимся языком,— историю, от которой мы располагаем лишь последним томом, содержащим всего две-три страницы; от этого тома сохранилось кое-где по несколько неполных глав, и от каждой страницы уцелело местами лишь по несколько строк. Словами медленно изменяющегося языка, более или менее отличающимися в последних главах, являются формы жизни, которые глубоко спрятаны в современных формациях и которые мы ошибочно считаем внезапно возникшими». Некоторые геологи в соответствии с этой образной мыслью Дарвина считают, что геологическая летопись по своему существу не может быть полной. Однако если я сам и не присутствовал при каком-то событии или имею слабую память, то мои друзья и соседи, конечно, его наблюдали и запомнили. Не следует забывать другую мысль Дарвина, что если геолог сосредоточит свое внимание лишь на одном каком-то районе, то «... он никогда не догадается, что в некоторые периоды, от которых не осталось следов в его собственной стране, в других местах накопились мощные осадочные толщи, содержащие в себе новые и оригинальные формы жизни». Перерывы в последовательности пластов—часто наблюдаемое явление, но они никогда не носят глобального характера. Эти явления расчленяют общую картину и усложняют работу геолога, в особенности палеонтолога, но в этом кроются и свои преимущества для пытливого ума.

Восстановление целостной пестрой картины отдельной геологической эпохи по следам в земных пластах—трудная и увлекательная задача. В этом отношении палеонтолог часто выступает в качестве следователя; не случайно знаменитый Шерлок Холмс утверждал, что свой метод восстановления минувших событий

он заимствовал из палеонтологии. «Как было вначале? Как стало потом? Какие события происходили одновременно?» «Как? Когда? Где?» – неразделимые вопросы всякого исследования прошедших событий. А историческая геология должна объяснить, какие события (материализованные в летописи, которой являют-

ся земные пласты) произошли, когда и с какой продолжительностью, где они проявились. Сама постановка этих вопросов волнует человеческое воображение, а раскрытие и восстановление картины геологических эпох имеют непреодолимое очарование для человеческого духа.



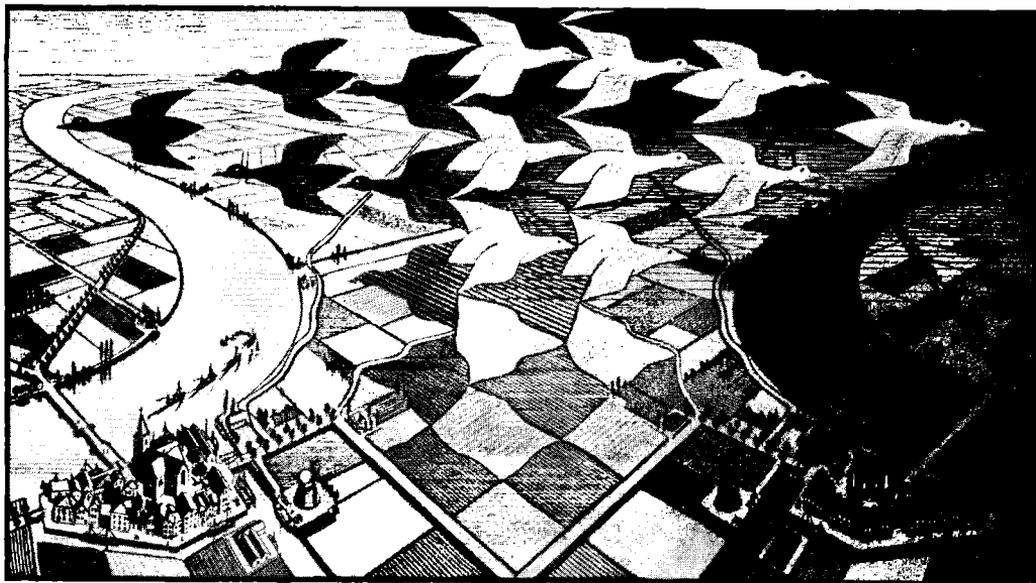
ВРЕМЯ – СИМВОЛ ДВИЖЕНИЯ

Есть ли что-нибудь более загадочное, чем время? С глубокой древности человечество пытается проникнуть в его сущность, выразить его словами, числами, мифами. Именно в древних мифах впервые появляются понятия «день» и «год», которые являются более определенными, чем понятие «время». Они имеют начало и конец. Так, согласно Библии, Земля возникла несколько тысяч лет назад. В других культурах, например по китайской мифологии, возраст Земли оценивается в 130 тыс. лет. Особенности интерес представляют взгляды древнеиндийских философов, которые считают Землю столь же старой и даже более старой, чем это определяют современные ученые. Согласно индийской мифологии, золотой век сменяется серебряным, за которым следуют бронзовый и железный. Такова же и древнеримская хронология, но индийские философы считали каждый век более продолжительным, чем римляне. Продолжительность одного древнеиндийского векового цикла, называемого махайюджа, составляет 4 млн. лет. Тысяча махайюджа составляют калпа, или один день Браммы, общая продолжительность которого 4 млрд. лет. Это очень близко к современному определению возраста Земли. Но, как видно, 4 млрд. лет составляют один день Браммы, а Брама живет сотни лет.

Этот замечательный пример показывает, что приведенные определения поня-

тий «день» и «год» в древних мифах совершенно неопределенны и растяжимы, как гармонь. Советский ученый А. Лосев отмечает, что день в «Илиаде» вовсе не равен 24 часам, каждый из которых состоит из 60 минут, и т. д. Следовательно, в древних мифах день – не текущее время, а событие, возможность какого-то действия. По Эсхилу, время необходимо, чтобы оправдалась вера в справедливость, в неизбежность исполнения божественного промысла. По Софоклу, время – это вечная смена радости и страдания.

Первый импульс к пониманию категории времени дали, очевидно, древнегреческие ученые-атомисты. Но лишь в эпоху Возрождения (XV–XVI вв.) наука начинает освобождаться от всеобщего влияния мифологии и всемогущей власти церкви. То было время перемен, зарождения нового класса – буржуазии. Быстрое развитие материального производства требует реального познания природы. Начинается эпоха Великих географических открытий; доказана шарообразная форма Земли. С незапамятных времен люди разделяли природу на небо и землю, но великий польский астроном Н. Коперник впервые определяет естественное место Земли среди планет Солнечной системы. Революционная идея Коперника, в сущности, является последним звеном долгой интеллектуальной эволюции, которая покончила с идеями геоцентризма.



Позже, в течение XVIII в., ученые начинают все более открыто отвергать мифологические представления о времени. Но идея об огромной продолжительности геологического времени возникает постепенно, в ожесточенной борьбе с церковными догмами. Даже великий И. Ньютон вынужден согласиться, что всеобщая симметрия в строении Вселенной имеет божественное происхождение.

Согласно Ньютону, «абсолютное, истинное или математическое время существует само по себе и в силу своей внутренней природы течет равномерно, безотносительно к чему-то внешнему и называется еще продолжительностью»; это — нечто вроде огромной реки. Но где истоки реки времени? Физические исследования отвечают на этот вопрос. В результате абсолютное время отвергается теорией Эйнштейна, но с этим проблема времени не становится проще. Появляются идеи о так называемом обратимом времени.

До сегодняшнего дня наука не открыла ничего, что отрицало бы характернейшее свойство времени — его необратимость. Эта необратимость обуславливает и асимметрию между прошлым и будущим. Известны исследования, в которых порядок времени ставится в зависимость от причинности: впрочем, эти

*М. Эшер. День и ночь
(фрагмент)*

взгляды приводят к логическому кругу. Например, в квантовой механике «обратное» течение времени обычно связано с превышением скорости света и нарушением принципа причинности.

Верно, что с точки зрения классической механики не существует законов, которые противоречили бы обратимости времени. Известны физические закономерности, которые не изменяются, если t заменить на $-t$. Постоянство нарастания энтропии¹ показывает направление термодинамических процессов и свидетельствует, что время течет только в одном направлении. Кроме факта постоянства нарастания энтропии современная интерпретация некоторых экспериментов с элементарными частицами также показывает, что время течет только в одном направлении.

Переход от абсолютного времени Ньютона к относительному времени Эйнштейна полностью раскрепостил науку и открыл новые горизонты. В. И. Ленин с предельной ясностью

¹ Термодинамическая величина, характеризующая состояние системы, мера устойчивости системы.

подчеркивает, что время и пространство есть формы движения материи. В 1915 г. видный математик Г. Минковский сделал интересное открытие, которое связывает пространство и время как формы существования материи. Согласно Минковскому, мир четырехмерен в пространственно-временном смысле. По этому поводу А. Эйнштейн в своем общедоступном изложении «О специальной и общей теории относительности» отмечает: «Когда нематематик слышит «четырёхмерен» (мир), его охватывает мистическое чувство, подобное чувству, вызванному театральным привидением». Но мир четырехмерен, и Минковский подчеркивает: «Отныне пространство и время превращаются в обыкновенный мираж, и только их единство может претендовать на независимость». В этом диалектическом единстве любое явление может быть определено четырьмя числами: тремя пространственными координатами x , y , z и четвертой координатой –

временем t . Так что оставим подробное теоретическое рассмотрение этого вопроса не потому, что привычка не часто противоречит разуму (в повседневной жизни мы привыкли время и пространство воспринимать практически независимо), а потому, что вопросы, на которые должна ответить геология – как? где? когда? – ясно отражают диалектическую связь пространства и времени. Пока четырехмерный мир является абстракцией, ответ на эти вопросы позволяет познать основные закономерности в геологической истории Земли. В этой долгой и волнующей истории все процессы (в органической и неорганической природе) спроецированы на стрелу времени как на положительный вектор – от прошлого к будущему.

Задача геологии – исследовать реальные проявления этих процессов во времени. Вот почему необходимы надежные методы датирования событий и процессов в геологической истории Земли.



ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЧАСЫ

Аристотель называл время «количеством движения», а по Лейбницу, время – «абстракция всех соотношений последовательности». В соответствии с этим измерение времени должно быть основано на периодических процессах, которые протекают с постоянной скоростью и могут быть сосчитаны. Тогда мы будем иметь в один и тот же момент и «число» Аристотеля, и «последовательность» Лейбница. В истории человечества время измеряется движением Земли вокруг собственной оси и вокруг Солнца. Вращение Земли обуславливает чередование дня и ночи, смену времен года и служит для летоисчисления. История человечества строится именно по единицам «день» и «год». Это естественные единицы, но их внутреннее детальное подразделение логически неоправданно. Так, например, день делится по шестеричной

системе (24 часа), а годы группируются в века по десятичной. Как отмечает М. Рутен, логично было бы век исчислять 144 годами, а не 100.

Советский автор Р. Баландин справедливо подчеркивает, что «вращение Земли – явление не только астрономическое, но и геологическое. Ни один оборот не проходит бесследно. По той или иной причине он остается в памяти планеты». Поэтому не надо углубляться в сущность современного физического представления о времени, чтобы понять механизм геологических часов. Хотя это прямо не относится к геологическому датированию, интересно отметить некоторые особенности наименьшей единицы времени – секунды. Так называемая световая секунда представляет $1/86400$ часть средних солнечных суток, т. е. среднего за год оборота Земли вокруг своей оси.

Однако известно, что существуют ощутимые отклонения в скорости вращения Земли вокруг оси величиной около 10^{-8} в течение одного года. Вот почему астрономическое время определяется на основе так называемой эфемеридной секунды, равной средней солнечной секунде в начале 1900 г. Эфемеридная секунда равняется $1/31556927,97474$ части продолжительности 1900 г. в тропической зоне Земли. В 1900 г. световое время и эфемеридное время точно совпадали, но из-за неравномерности вращения Земли в 1971 г. расхождение между тем и другим составило 30 с.

Наиболее точно время отсчитывается так называемыми атомными часами, основанными на колебаниях в изотопе цезия-133. Максимальная погрешность цезиевых часов – 1 с за 30 000 лет. Существует возможность создания часов с максимальной погрешностью 1 с при измерении интервалов до 3 млн. лет.

По опыту повседневной жизни мы не считаем время просто отвлеченно, как истекшие дни, месяцы, годы. Это время постоянно заполнено событиями, возможностью действия. Как же перенести это повседневное представление о времени, разделенное на равные интервалы (секунды, часы, дни, годы), к геологическому прошлому? Это прошлое полно событий, связанных с воздействием многих космических и земных факторов: положением Земли в космическом пространстве, вариациями солнечной активности, влиянием Луны, радиоактивными процессами в недрах Земли и т. п. В этой связи Р. Баландин ставит некоторые вопросы, которые касаются основ нашего представления о геологическом времени и механизме геологических часов: «Что понимать под миллионами лет геологической истории? Миллионы оборотов Земли вокруг Солнца? Только являются ли эти обороты основополагающими для Земли?» Бесспорно, что вращение Земли вокруг оси и вокруг Солнца имеет фундаментальное значение для развития жизни на нашей планете. Но определение геологического времени основано на других процессах. Действительно, для удобства мы выражаем геологическое время в го-

дах, но сам отсчет базируется на других процессах, которые являются сущностью так называемых геологических часов. Эти часы отражают особенности геологических процессов и явлений, временные интервалы которых не есть простая сумма более мелких равных интервалов. Геологические часы, с одной стороны, дают нам последовательность изменений геологических объектов, а с другой – связывают эту последовательность с единым принятым масштабом времени, основанным на естественной радиоактивности некоторых химических элементов.

Еще до открытия естественной радиоактивности в начале XX в. были испробованы различные «часовники» для измерения геологического времени. По аналогии с песочными часами были попытки разработать геологический масштаб времени по скорости образования осадков в древних бассейнах. Эти бассейны рассматривались как огромные песочные часы, причем априорно принималось, что они работают равномерно. Однако установлено, что образование осадков в различных бассейнах не может служить мерой времени, поскольку скорость их образования не постоянная, а весьма переменная величина, зависящая от многих факторов.

Некоторые ученые пытались определить геологическое время по концентрации солей в реках и океане, исходя из представления, что первоначально океанские воды были пресными. Другие попытки определить геологическое время связаны с остыванием Земли. При этом, однако, не учитывается, что потеря тепла компенсируется радиоактивным излучением.

Весьма популярны так называемый дендрологический метод, основанный на изучении годовых колец на деревьях, и метод, основанный на изучении ленточных глин. Эти глины образуются в околледниковых (перигляциальных) бассейнах и характеризуются тонким полосчатым строением. Полосы отражают типичную годовую слоистость, связанную с сезонными изменениями климата. По дендрологическим данным опреде-

ляется возраст до 3000 лет, а по ленточным глинам – до 20 000 лет. В связи с этими методами, и особенно в связи с циклическим строением ленточных глин, следует отметить, что распространение осадков с циклическим строением весьма ограничено. Кроме того, может быть задан резонный вопрос: был ли постоянен астрономический цикл в течение геологического прошлого? Известно, что на протяжении последних 600 млн. лет выделяется 5–6 циклов, каждый из которых был на одну треть меньше предыдущего. Есть данные, согласно которым в начале палеозойской эры (табл. 1), т. е. 600 млн. лет назад, в году было 424 сут.

Современные методы определения геологического времени основаны на двух группах процессов, которые протекают одинаково и необратимо. Это, во-первых, эволюция животного и растительного мира и, во-вторых, естественная радиоактивность некоторых химических элементов.

С помощью изучения эволюции организмов определяется так называемый относительный возраст, т. е. хронология этапов истории Земли. В этом случае геолога можно сравнить с археологом, который устанавливает последовательность: палеолит, мезолит, неолит, не имея возможности точно указать, сколько времени продолжались отдельные периоды и века прайистории. Сегодня, используя новейшие методы, археология достигает глубин человеческой истории, а для геолога стало привычным применять метод относительного датирования геологической истории как вполне естественный. Это так, потому что одна из существенных черт геологического исследования – стремление восстановить естественный ход событий в геологической истории. Это события разной продолжительности, протекавшие с разной скоростью, что вполне естественно, так как время – символ движения и не всегда может быть отсчитано с равными интервалами.

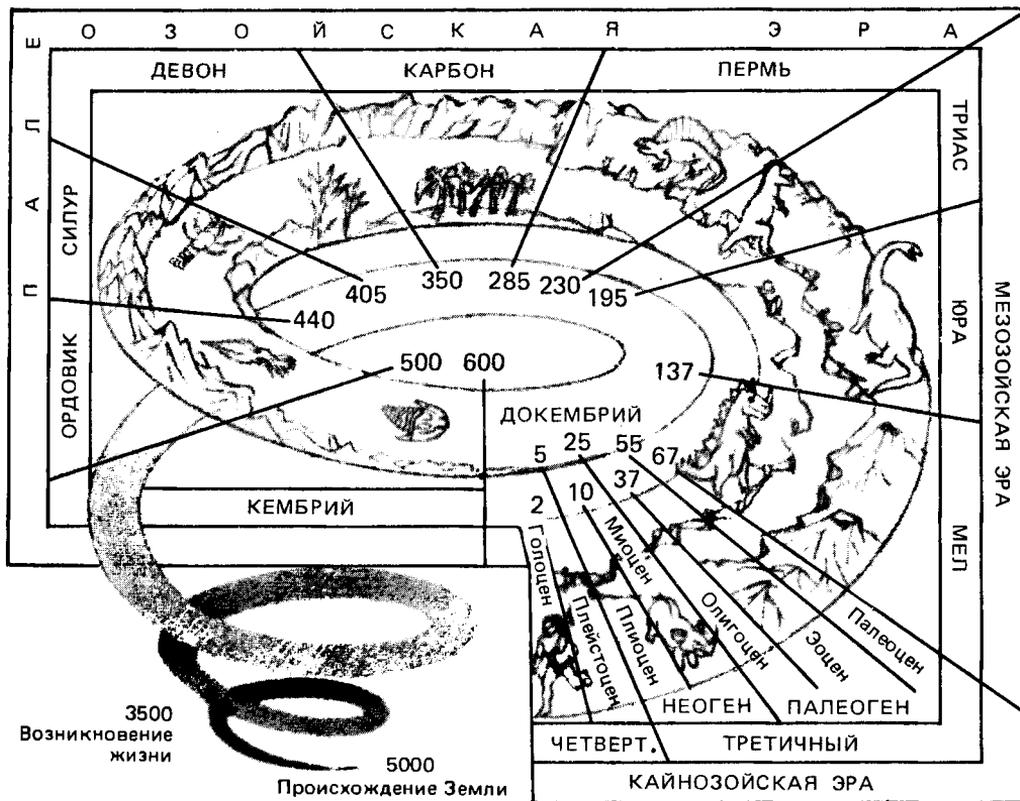
При выполнении полевых работ геолог использует только методы относительного датирования. Их основу составляют эволюция органического мира,

закономерности образования пластов, слагающих земную кору, петрографические, минералогические, физические особенности и палеонтологические остатки, проявление и интенсивность тектонических движений и др.

Эволюция животного и растительного мира преподнесла неоценимый дар геологии. Ею обусловлено то, что для каждого периода, каждой эпохи, каждого века геологической истории характерен специфический набор животных и растений. В этой замечательной многолетней эстафете отдельные группы организмов участвовали только на определенных этапах долгого пути жизни: археоциаты, трилобиты, граптолиты, четырехлучевые кораллы, лепидодендроны и каламиты, аммониты и белемниты, динозавры и пр. Они появились в определенный момент, участвовали с переменным успехом в общем состязании, чтобы уступить, наконец, место другим группам. Определенные этапы в эстафете жизни имеют своих ярких представителей – факелоносцев, всегда окруженных «почетным эскортом», «ассистентами». Их ансамбль создает характерный облик каждой эпохи геологической истории.

Следовательно, естественные единицы времени в геологии выводятся из хода геологического процесса. Их границы отмечают последовательные переломные моменты в развитии нашей планеты. Принятая в наше время геохронологическая шкала разработана на основе эволюции организмов, главным образом животного мира. Даже названия наиболее общих подразделений связаны с эволюцией животных. Это обусловлено тем фактом, что окаменевшие остатки древних животных встречаются чаще, чем растительные остатки, а кроме того, эволюция животного мира создала более четкую летопись. Независимо от этого использование растений для относительного датирования весьма полезно.

В табл. 1 приведены основные подразделения геохронологической шкалы с обозначением продолжительности (в годах) отдельных подразделений, определенной по радиологическим данным. Эта геохронологическая шкала, по существу,



иерархическая, а не метрическая. Она отражает закономерный ход историко-геологического процесса. На каждом определенном этапе этот процесс имел свои характерные особенности, которые невозможно измерить метрически, но необходимо выразить в единой иерархической классификации соподчиненных единиц. Эти единицы следующие: эон, эра, период, эпоха, век, хрон.

Большое впечатление производит огромная разница в продолжительности двух наиболее крупных подразделений геологической истории: криптозойского и фанерозойского эонов. Криптозойский эон охватывает долгую (свыше 4 млрд. лет) допалеозойскую историю Земли. Из-за скудности четких органических остатков его невозможно разделить более детально. Фанерозойский эон охватывает три эры: палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую общей продолжительностью около 600 млн. лет.

Граница между двумя зонами пред-

Спираль эволюции и геологическое время (по Петцольду и Померолу, 1973, с изменениями Т. Николова, 1977)

ставляет величайший поворотный момент в истории Земли. В прямом смысле слова это были годы великого перелома в эволюции планеты и населявшего ее органического мира.

Мы говорили, что в своей повседневной работе геолог обычно определяет относительный возраст комплексов пород. Для решения большинства геологических задач этого вполне достаточно, тем более что даже при более точном радиологическом определении возраста пород допускается средняя погрешность около 5%. При возрасте 1 млрд. лет эта погрешность составляет 50 млн. лет. Однако для некоторых специальных целей, например для характеристики ряда геологических процессов, точное представление о времени имеет более существенное

Таблица 1. Основные подразделения геохронологической шкалы

Эон (эонотема)	Эра (эратема)	Период (система)	Радиологическое датирование, млн. лет	
			Продолжитель- ность	Возраст нижней границы
Фанерозой	Кайнозой	Четвертичный	2	2
		Третичный	65	67
	Мезозой	Мел	70	137
		Юра	58	195
		Триас	35	230
	Палеозой	Пермь	55	285
		Карбон	65	350
		Девон	55	405
		Силур	35	440
		Ордовик	60	500
		Кембрий	100	600
Криптозой	Протерозой	Венд	100	700
		Рифей	1000	1700
		Афегий	1000	2700
	Архей	Нет общепринятого подраз- деления	2300	4500–5000

Примечание. Данные радиологического датирования взяты из материалов Комиссии по геохронологии при Международном союзе геологических наук (Нанси, 1965).

значение. При этом, хотя принятая Международная геохронологическая шкала построена на основе относительного датирования, для геолога существенно знать продолжительность в годах отдельных подразделений геохронологической шкалы.

В 1902 г. Пьер Кюри впервые предложил использовать открытое им явление естественной радиоактивности как эталон времени. Строгое постоянство скорости радиоактивного распада привело Пьера Кюри к мысли о разработке единой точной хронометрической шкалы истории Земли. Позже этот вопрос разрабатывали Э. Резерфорд (1904) и многие другие ученые.

Известный советский специалист в области радиоизотопной хронометрии И. Е. Старик отмечает: «С открытием радиоактивности сама природа снабдила нас часами, которые были «заведены» в момент образования радиоактивных изотопов и ходят с поразительным постоянством, которое не зависит от изменений внешних условий...»

При радиоактивном распаде происходит самопроизвольное излучение α -частиц (ядра гелия), β -частиц (электроны) и γ -квантов (высокоэнергетичные фотоны) ядрами атомов некоторых элементов. Стабильные и нестабильные разновидности одного и того же элемента называются изотопами. Для определения

абсолютного возраста используют нестабильные изотопы, притом лишь такие радиоизотопы, продолжительность существования которых соизмерима с возрастом земных образований.

Скорость распада радиоактивного изотопа выражается так называемым периодом полураспада (Т). Это время, в течение которого любое исходное количество атомов уменьшается вдвое в результате распада. Период полураспада радиоактивного элемента зависит только от скорости его движения в пространстве, а она не соизмерима со скоростью геологических процессов, т. е. закон радиоактивного распада проявлялся с одинаковой скоростью в течение миллиардов лет.

Уместно отметить, что независимо от практического постоянства скорости радиоактивного распада возраст, определяемый по радиоизотопному методу, не является абсолютным в буквальном смысле этого слова — он сам отсчитывается от единого принятого начала, определенного как химическая стабилизация протопланетного вещества. Выражение «абсолютный возраст» употребляется условно, в том смысле, что это есть возраст, определенный в годах в отличие от относительного возраста, определенного по хронологии естественных событий и процессов в истории Земли. Разумеется, радиоактивный распад также естественный процесс, но он имеет самопроизвольный характер и не зависит от развития Земли.

В зависимости от конечного продукта радиоактивного распада разработаны следующие методы изотопной геохронометрии: свинцовый, гелиевый, аргонный, калиевый, стронциевый и осмиевый.

Один из старейших в изотопной геологии — свинцовый метод. Он назван так потому, что возраст минералов и пород определяется по накоплению свинца при распаде урана и тория. В результате радиоактивного распада урана-238, урана-235 и тория-232 возникают новые радиоактивные элементы. Все три радиоактивных семейства завершает стабильный изотоп свинца. В ряду ура-

на-238 возникает свинец-206, урана-235 — свинец-207 и при распаде тория-232 — свинец-208.

При любом изотопном методе возраст определяется по соотношению стабильного и нестабильного изотопов. Если иметь в виду, что скорость радиоактивного распада постоянна, по любой паре изотопов одного радиоактивного ряда можно вычислить возраст данного минерала с момента его образования как системы по сегодняшний день.

Для определения геологического возраста до 50 тыс. лет широко применяется так называемый радиоуглеродный метод. Он основан на радиоактивности изотопа углерода ^{14}C (с периодом полураспада 5750 лет), который образуется в атмосфере под воздействием космических лучей на азот. С помощью этого метода датируются этапы древней человеческой цивилизации, эпохи оледенения и т. п.

Другой метод, основанный на ядерном распаде радия-226 и иония (изотоп тория-230), которые накапливаются в глубоководных глинах, позволяет определить возраст до 600 тыс. лет.

Недавно американский ученый Дж. Бейда разработал новый метод датирования, основанный на исследовании аминокислот. Известно, что эти кирпичики белков в живом организме левоориентированы. После смерти организмы аминокислоты постепенно переходят в правоориентированную форму с постоянной во времени скоростью. Не вникая в подробности этого метода, следует отметить, что он имеет ряд преимуществ по сравнению с радиоуглеродным и дает возможность определения возраста окаменелостей в диапазоне 15–100 тыс. лет. Однако применение метода Бейды требует особого внимания, поскольку превращение аминокислот из лево- в правоориентированные зависит не только от времени, но и от температуры. Это значит, что две окаменелости одного возраста, но происходящие одна из тропиков, а другая из Арктики, имеют различное соотношение лево- и правоориентированных аминокислот.

Изотопный механизм измеряет ин-

тервалы времени в миллиарды лет. Несмотря на ряд слабых сторон, особенно с точки зрения экспериментальных сложностей, это единственный универсальный инструмент в руках геолога. В современной геологии изотопный метод применяется вместе с относительной хронологией. Изотопные методы отмечают на хронологической шкале ориентиры

с точным возрастом и позволяют связать эту шкалу с временем, измеренным в годах. Так конструируются геологические часы, которые олицетворяют единство относительной хронологии (т. е. исторических событий) и изотопной хронометрии (т. е. физического масштаба времени), единство «последовательности» Лейбница и «числа» Аристотеля.



КОРАЛЛЫ КАК ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЧАСЫ

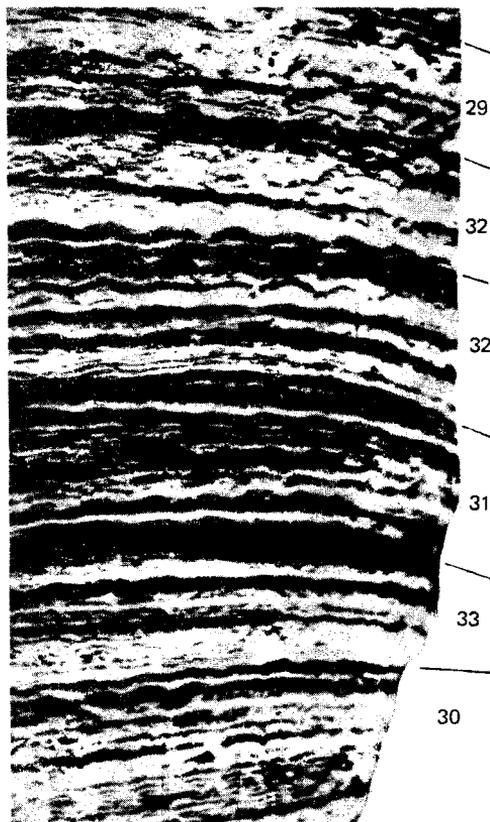
Кораллы — эти очаровательные животные-цветы — предоставляют нам весьма интересную возможность определять не только относительный, но и абсолютный возраст. Этой возможности они обязаны одной из основных особенностей жизни Земли, в которой бьется пульс Вселенной и слышится эхо солнечных ритмов.

Ученые обратили внимание на некоторые особенности жизненного цикла отдельных организмов: кораллов, моллюсков, морских ежей и т. д. Для них характерно нарастание раковины (скелета) путем постепенного прибавления нового материала. В ходе этого процесса образуются так называемые линии роста, которые, подобно годовым кольцам деревьев, отражают суточные, сезонные и годовые циклы.

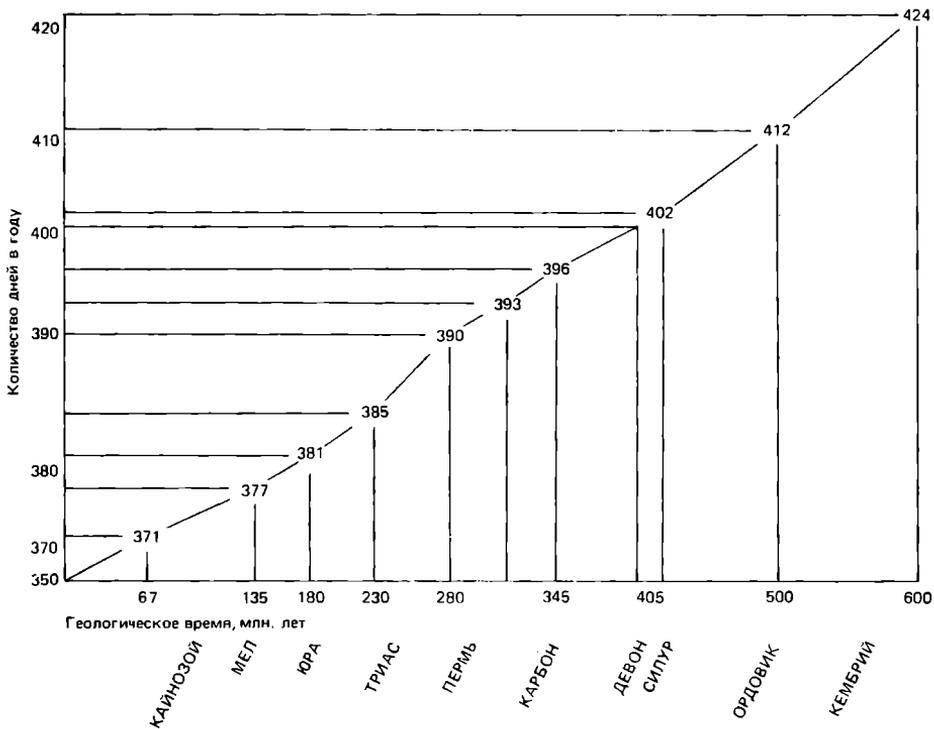
Среди различных организмов, у которых периодическое отложение карбоната кальция образует тонкие линии или ребра, наиболее подходящими оказались кораллы. Это типичные морские теплолюбивые беспозвоночные животные. Внешняя часть их скелета покрыта тонким известковым слоем, называемым эпитекой. При хорошей сохранности на эпитеке видны четкие концентрические кольца — результат периодических изменений скорости отложения карбоната кальция. Эти скелетные образования группируются в пояса, которые разделены бороздками.

В 1963 г. американский палеонтолог

Дж. Уэлс впервые высказал мнение, что кольцевидные линии и пояса на эпитеке кораллов представляют собой суточные



*Линии роста на эпитеке
кораллов (увеличено)*



и годовые образования. Позже с помощью экспериментов с изотопом Са-45 было доказано, что большинство современных рифообразующих кораллов усваивают CaCO_3 в течение дня в большей степени, чем ночью. Физиологически процесс кальцификации у кораллов, живущих в симбиозе с водорослями, связан с фотосинтезом, который зависит от освещенности, т. е. от суточного цикла.

Исследуя некоторые современные виды, Уэлс насчитал около 360 линий в годовом поясе, т. е. каждая линия приблизительно соответствует приросту за один день. У кораллов карбона он насчитывает от 385 до 390 линий, а у среднедевонских — от 385 до 410. На основании этих исследований Уэлс делает вывод, что количество дней в году в среднем девоне и карбоне было больше, чем в наше время.

Исследования в этом направлении проводили и другие палеонтологи, которые на основании палеонтологических данных в сочетании с астрономическими и геофизическими сведениями установили, что год в среднем девоне (примерно

Изменение количества дней в году в фанерозое (по Уэлсу, 1963)

370 млн. лет назад) состоял из 399 дней. Если количество дней среднедевонского года (399) разделить на количество линий роста в одной полосе, получится приблизительно 13, т. е. количество месяцев в среднедевонском году. Это еще один замечательный пример относительности времени.

Установлено совпадение теоретических астрономических вычислений и палеонтологических данных. Теоретические вычисления показывают, что продолжительность суток в девонском периоде была 22 часа, т. е. Земля вращалась быстрее, чем в нашу эпоху. Скорость вращения Земли вокруг оси постепенно уменьшается из-за приливного трения. Эта скорость может также изменяться в зависимости от момента инерции Земли, на которую влияют изменение земного радиуса и перераспределение массы в ее недрах.

На основе палеонтологических

данных доказано, что момент инерции Земли в девоне был примерно на 0,5% меньше, чем сейчас. Постепенное замедление вращения Земли, главным образом под влиянием приливов, приводит к увеличению продолжительности суток на 20 с за 1 млн. лет, а следовательно, к уменьшению числа суток в году.

Кораллы – яркий пример геологических часов, но они могут нам служить только в периоды не старше 440 млн. лет. Впрочем, в досилурских осадочных породах встречается много окаменелых водорослей. Древние водоросли часто образуют крупные колонии – строматолиты, структура которых подобна эпителике кораллов. Их слои могут быть резуль-

татом суточных, месячных (сезонных) и годовых изменений, вызванных суточным циклом, сменой приливов и отливов, температуры, солнечной освещенности. Следовательно, древние водоросли также предоставляют нам запись ранней истории Земли, включая и эволюцию системы Земля – Луна.

Исследование линий роста у кораллов, водорослей и других древних организмов имеет исключительное значение, так как на их образование не оказывают существенного влияния химические изменения, которые влияют на данные изотопного датирования. Так что это направление в палеонтологических исследованиях скрывает много тайн.



НАЧАЛО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ЛЕТОИСЧИСЛЕНИЯ

Когда были «заведены» геологические часы? Этот вопрос касается волнующей проблемы происхождения Земли как планеты, рождение которой неразрывно связано с рождением Солнечной системы. Сама проблема происхождения Солнечной системы (Солнца, планет и их спутников) не относится к предмету данной книги, но мы не можем совсем обойти ее вниманием.

Как и когда была создана Солнечная система? Откуда взялась материя, когда началось время? Вот два фундаментальных вопроса, касающиеся возникновения мира, которые и сегодня волнуют все человечество. Знаменитый немецкий философ И. Кант (1724–1804), автор одной из первых популярнейших теорий происхождения Солнечной системы, писал: «Дайте мне материю... и я покажу, как из нее мог образоваться мир». Эта фраза ярко подчеркивает материальность мира. Однако материя не есть неизменная и абстрактная субстанция, она существует в конкретных формах, причем каждая из них обладает собственной структурой и многообразными свойства-

ми, которые могут изменяться во времени и пространстве. Материя как философская категория вечна: ни одна ее форма, даже мельчайшая ее частица, не исчезает бесследно; материя и энергия могут превращаться друг в друга; на смену одному материальному объекту приходит другой, и так постоянно – вечное движение в единой бесконечно-конечной и конечно-бесконечной Вселенной.

Сегодня известны две принципиально различные теории происхождения Вселенной. По мнению приверженцев одной из них, мир имеет стационарный характер: отдельные звезды и галактики могут возникать и исчезать, но основные свойства Вселенной существенно не меняются. Приверженцы другой теории, связанной с наблюдающимся так называемым разлетанием галактик, считают, что современное множество галактик ведет свое начало от небольшой по размерам материальной системы, которая имела колоссальную плотность и была построена из нейтронов, протонов и электронов. Предполагается, что эта материальная система, обладавшая темпера-

турой около миллиарда градусов, распалась из-за нарушения гравитационной устойчивости. Этот «всеобщий взрыв» дал начало галактике. С этого времени стали образовываться ядра основных химических элементов.

Основой определения времени в нашей Галактике служит именно этот процесс образования атомных ядер (нуклеосинтез) известных нам химических элементов. По теоретическим расчетам возраст Галактики принимается равным примерно 20 млрд. лет.

Звезды образовались из постепенно уплотнявшихся грандиозных газопылевых туманностей, состоящих из холодных легких элементов, главным образом водорода. Сначала из этих исходных туманностей формировались протозвезды, которые продолжали уплотняться под воздействием собственных гравитационных сил. В их центральной части температура неуклонно нарастала.

Так как Вселенная на 99% состоит из легчайших элементов — водорода и гелия, многие ученые считают, что все другие элементы существовали не всегда, а образовывались в ядрах звезд, где температура была более 10 млн. градусов.

Известно, что в любой типичной галактике каждый год ярко вспыхивает около 20–25 звезд. Эти вспышки — результат звездного взрыва. В нашей Галактике взрыв чрезвычайно яркой звезды наблюдается раз в несколько столетий. Возникают так называемые сверхновые звезды. Правоммерно предположить, что начало нашей Солнечной системе положила вспышка одной из сверхновых звезд в нашей Галактике. Доказательством является то, что сверхтяжелые элементы, которые установлены на Солнце и в Солнечной системе, не могли образоваться на самом Солнце, а, очевидно, унаследованы от другого тела. С другой стороны, все еще не доказано, произошли ли Солнце и планеты из одного или различных газопылевых источников. Так, до сих пор не получило объяснения различие в количестве железа и кремния, которых на Солнце меньше, чем на Земле и в метеоритах.

В настоящее время считается обще-

принятым, что Земля имеет так называемое холодное происхождение. Наиболее полно эта идея развита советским ученым О. Ю. Шмидтом и его сотрудниками. Согласно этой гипотезе, Земля образовалась из протопланетного облака с низкой температурой, состоящего из газа, пыли и более крупных частиц.

Исследования процесса нуклеосинтеза показывают, что образование Солнца с его основными химическими элементами произошло около 5–6 млрд. лет назад. Следовательно, возраст Земли не может существенно отличаться от 5 млрд. лет. Это подтверждается и конкретными данными, полученными при определении возраста метеоритов и древнейших пород, слагающих земную кору. Возраст Земли как космического тела больше, чем возраст ее мантии и коры, которые дифференцировались на более поздних этапах земной эволюции.

Как свидетельствуют данные радиоактивного распада ядер некоторых химических элементов, геологические часы были «заведены» 5 млрд. лет назад. Тогда забился пульс в груди Земли, чтобы, пройдя громаду лет, достигнуть нашего времени. А дальше? Наука, разумеется, имеет предположения о будущем развитии, но здесь мы позволим себе привести один анекдотичный разговор между двумя приятелями. Один говорит: «Знаешь ли, что из-за своей относительно малой массы Солнце может оставаться в неизменном виде, вероятно, лишь около 5 млрд. лет?» Другой ответил: «Это очень интересно, но это еще не доказывает, что наступит тепловая смерть, хотя на Земле жизнь и зависит от солнечной энергии». Человек, слышавший этот разговор, сильно разволновавшись, спросил: «Через сколько лет, вы сказали, исчезнет Солнце?» Второй из говоривших заключил спокойно: «О, не волнуйтесь, я думаю, что Солнце исчезнет на 5 млн. лет позже».

Земля — дитя космоса, которое за свою долгую историю прошло несколько основных этапов, характеризующихся специфическими чертами развития: 1) Эволюция атомов, в процессе которой образуются основные химические эле-

менты; этот этап не типично земной, он мог бы быть назван «утробным», поскольку в ходе его формируется «эмбрион» Земли – протопланетное облако. 2) Химическая эволюция, во время которой атомы объединяются в молекулы все возрастающей величины и сложности; на этом этапе закладываются предпосылки к образованию первых сложных органических макромолекул, что приведет к возникновению жизни на Земле. 3) Геологическая эволюция, она подхватывает эстафету химической эволюции; на этом этапе образуется богатое и сложное многообразие минералов и пород, формируется литосфера, гидросфера, атмосфера; химическая эволюция сложных органических макромолекул переходит в биологическую эволюцию организмов, т. е. осуществляется переход от жизни вещества к жизни существа. 4) Культурная, или техногенная, эволюция, которая начинается с появлением человека.

Границы между отдельными этапами условны, но независимо от этого можно установить приблизительную продолжительность каждого этапа. Первый этап – эволюция атомов – продолжался около 1 млрд. лет. Химическая эволюция длилась приблизительно 2 млрд. лет. Не прекращаясь и сейчас, химическая эволюция уступает место геологической эволюции; они взаимно проникают друг в друга, но и через миллиард лет существования Земли геологическая эволюция, которая определяется как физическими и химическими, так и специфическими геологическими законами, будет определять облик нашей планеты. Еще в ранние эпохи геологической эволюции с появлением жизни началась биологическая эволюция.

Типичные черты геологической эволюции проявляются около 4,5 млрд. лет назад, когда формируется макроструктура Земли. В этой макроструктуре различают: плотное ядро с двухслойным строением (внутреннее и внешнее ядро) с радиусом около 3400 км, более легкую мантию толщиной около 2900 км и земную кору, которая имеет различную мощность (от 5 до 50 км, более тонкая в океане и более мощная на континентах).

Древнейшие породы возрастом 4,5 млрд. лет, известные на сегодняшний день на Земле, – это породы группы Сан-Паулу, которые обнаружены в подводных хребтах южной части Атлантического океана. Они представлены ультраосновными породами типа перидотитов, из которых, как предполагают, состоит мантия. Интенсивные тектонические движения, вероятно, вынесли на дно океана вещество мантии.

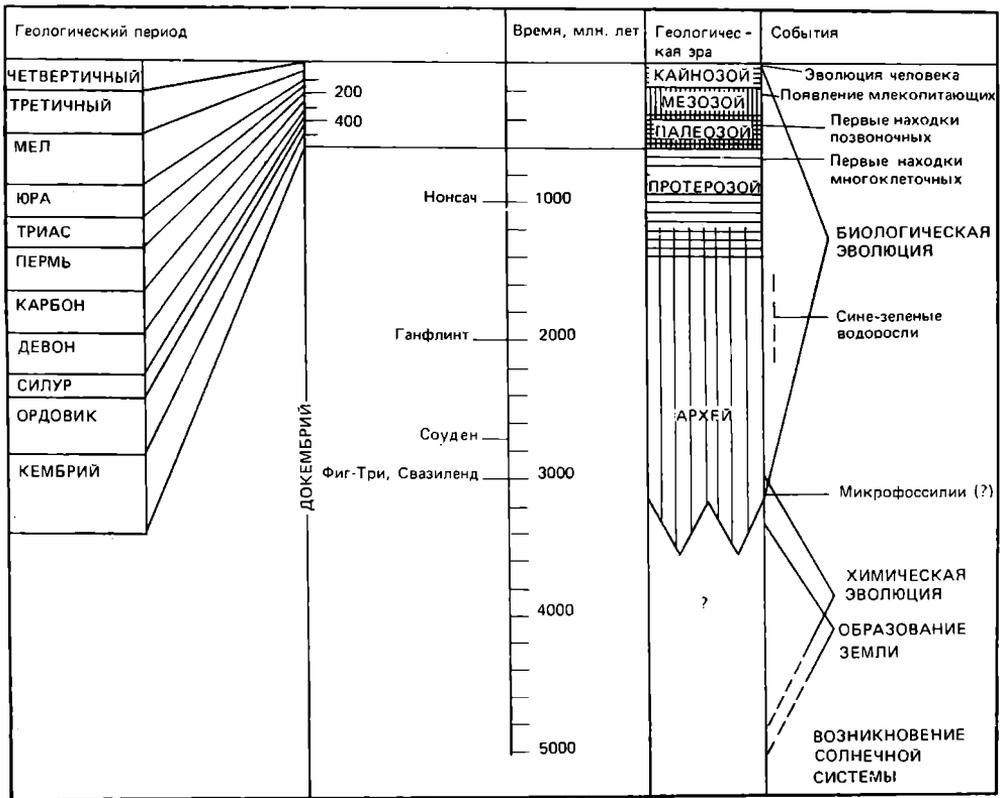
Древнейшие породы, составляющие земную кору, обнаружены в Восточной Антарктиде (Земля Эндерби), откуда и идет их название – эндербиты. Они имеют возраст 4 млрд. лет.

Эндербиты – породы группы чарнокитов. Как и многие другие крупные открытия в науке, обнаружение чарнокитов произошло случайно. В 1892 г. английский геолог Голанд посетил крупное калькуттское кладбище. Его внимание привлек оригинальный памятник на могиле Дж. Чарнока, основателя города, умершего в XVII в. Как всякий геолог с романтической душой и пытливым умом, Голанд рассматривал не только изящную структуру памятника, но и породу, из которой он был изваян. Его сильно заинтересовало необычное сочетание двух основных порообразующих минералов – дымчатого кварца и темно-коричневого пироксена. Так как присутствие последнего необъяснимо в граните, за который был принят монолит памятника, Голанд почел за лучшее провести специальное исследование и отбил небольшой кусочек от памятника.

Вернувшись в Англию, Голанд обнаружил, что открыл новый тип породы, который он назвал чарнокитом по имени Дж. Чарнока.

Позже было установлено, что эндербиты и чарнокиты распространены в кристаллическом фундаменте древних платформ, которые образовались в самом начале геологической истории Земли за счет подъема вещества мантии под влиянием интенсивных тектонических движений, высокой температуры (900–1000°C) и огромного давления (до 10–15 тыс. атм).

Другую группу древних пород, сла-



гающих земную кору, составляют породы так называемой кольской серии и граниты Кольского полуострова; их возраст около 3,5 млрд. лет. Впрочем, предполагается, что граниты не первичны по своей природе. Они, по-видимому, представляют собой метаморфизованные (измененные) осадочные породы.

Древнейшие осадочные породы, известные в настоящее время, относятся к системе Свазиленд (Южная Африка). Эта система представлена осадочными и вулканическими породами общей мощностью более 10 км. Среди осадочных толщ встречается значительное количество окаменелостей. По изотопным данным, возраст системы Свазиленд более 3,2 млрд. лет, вероятно, около 3,5 млрд. лет.

Следовательно, возраст Земли как планеты около 5 млрд. лет; возраст мантии около 4,5 млрд. лет, а возраст древнейших пород, составляющих земную кору, 3,5–4 млрд. лет.

Соотношение между криптозойем и фанерозоем (по Келвину, 1971)

На ранних этапах процессы развития Земли протекали с большой скоростью. Затем наступает долгий и относительно спокойный период продолжительностью около 3,3–3,5 млрд. лет. Впрочем, это спокойствие относительно. В этот период образуются мощные железорудные формации; проявляются интенсивные процессы гранитизации, связанные, вероятно, с несколькими горообразовательными циклами. Появляется жизнь на Земле.

Процессы развития в истории Земли ускорились (акселерация), что находит свое отражение в шкале относительной геохронологии. Докембрийская (криптозойская) история Земли охватывает четыре пятых геологического времени, тогда как кипящий жизнью фанерозой составляет лишь одну пятую. Соотношение

между продолжительностью палеозоя, мезозоя и кайнозоя (табл. 1) приблизительно 5:2:1. Это ускорение геологических процессов очень четко отражается в фанерозойской эволюции органического мира и является проявлением общих закономерностей природы.

Перефразируя известную мысль видного английского геолога Дж. Геттона, можно сказать в заключение, что геологи

находят «следы начала». Начало истории Земли – около 5 млрд. лет назад, когда начинается дифференциация протопланетного облака, затем – формирование макроструктуры планеты и образование земной коры – летописи геологической истории Земли. По новым данным, жизнь на Земле возникла около 3,8–4 млрд. лет назад. Об этом начале рассказывается в следующей главе.



2. НАЧАЛО



МУЧИТЕЛЬНАЯ И СЛАДКАЯ ЗАГАДКА

С незапамятных времен происхождение жизни было загадкой для человечества. С момента своего появления благодаря труду человек начинает выделяться среди остальных живых существ. Но способность задать себе вопрос «откуда мы?» человек получает сравнительно недавно – 7–8 тыс. лет. назад, в начале нового каменного века (неолита). Весьма примечательно, что именно в начале неолита люди выходят из пещер и начинают строить постоянные жилища на открытых местах. Перед взором человека раскрывается мир, который до того был ему известен лишь частично по охотничьим вылазкам. Картина окружающего мира непрерывно обогащается, так как человеческий разум открывает все новые горизонты. Этому способствует зарождение земледелия и ремесел. До этого времени человек с трудом отделял себя от других

животных (человек был и охотником, и своеобразной дичью), но постепенно он стал отграничивать себя от природы своим внутренним духовным миром. Вместе с этим появляется вера в то, что окружающая природа – животные и растения, реки и моря, горы и равнины – тоже одушевлена.

Это примитивное, но практичное отождествление окружающей природы с одушевленностью человека имело серьезные последствия. Первые примитивные формы веры в нереальные, сверхъестественные или божественные силы, существовавшие уже 35–40 тыс. лет назад, расширяются и укрепляются. Человек понимает, что он смертен, что одни рождаются, а другие умирают, что он создает орудия труда, обрабатывает землю и получает ее плоды. А что же лежит в основе всего, кто первосоздатель, кто со-



здал землю и небо, животных и растения, воздух и воду, день и ночь и, наконец, самого человека?

Так возникло представление о сотворении мира как о «творческом акте» бога, и этот миф лежит в основе всех религий. В Библии говорится: «В начале Бог создал небо и землю»; на четвертый день Бог распоряжается: «Да произведет вода обильное множество одушевленных гадов, и птицы да летают над землей в небесном просторе». Вторая часть творения: «И создал Бог человека по своему образу и подобию». И наконец: «Господь Бог создал женщину из ребра, которое взял от человека, и привел ее к человеку» (Бытие, 1 : 2–31; 2 : 21–22).

Как сборник различных по времени написания и по содержанию произведений древнееврейской культуры Библия (ее древнейшая часть известна с IX в. до н. э.) заимствовала представления о сотворении мира из древневавилонских и древнеегипетских мифов. Эти мифы – продукт чистой фантастики и мистицизма, но они показывают нам, какими были древние представления о происхождении мира. Впрочем, они властвовали умами людей на протяжении тысячелетий; многие верят в них даже и сегодня; известно, что простого человека легенды и мифы всегда волновали больше, чем научная истина.

Одна счастливая находка – алебастровая ваза, найденная при археологических раскопках древнешумерского города Урука, который существовал в Южной Месопотамии 4000 лет назад, – позволила познакомиться с древними представлениями о возникновении живых существ. Ваза украшена в несколько ярусов. В самом низу изображены морские волны. Из них поднимаются растения, далее следуют животные, а на самом верху – люди. Над всем этим – скульптурная композиция с богиней жизни и плодородия Иштар. Примечательно, что еще с древних времен идет стремление человека поставить себя на верхней ступени лестницы жизни как существо, «стоящее ближе всех к ангелам».

Идея самозарождения жизни из воды, ила или гниющей материи также идет от



Ваза из древнешумерского города Урука (IV тысячелетие до н. э.). Здесь нашли отражение примитивные представления о возникновении живых существ

древних мифов. В различных вариантах эта идея дожила до начала нашего века.

В книге «Происхождение жизни», изданной в Болгарии в 1974 г., один из создателей современной теории происхождения жизни академик А. И. Опарин (1894–1980) приводит очень подробный обзор развития идей о возникновении жизни на Земле. Поэтому ограничимся только самыми краткими историческими сведениями.

Древнегреческие философы Милетской школы (VIII–VI вв. до н. э.) принимали идею возникновения живых существ из воды либо из различных влажных или гниющих материалов, что было результатом непосредственного влияния вавилонской культуры. Но еще Фалес (624–547 г. до н. э.) оспаривал мифологические представления и создал стихийно-материалистическое мировоззрение с элементами диалектики. Согласно Фалесу и его последователям, возникновение живых существ из воды произошло без какого-либо вмешательства духовных сил; жизнь есть свойство материи. А. И. Опарин обоснованно отмечает, что философские взгляды Милетской школы «содержат зачатки всех концепций по вопросу происхождения жизни, которые впоследствии будут развиты более детально».

Яркое материалистическое развитие идеи самозарождения живых существ осуществляется позже в трудах Демокрита (460–370 г. до н. э.) и Эпикура (341–270 г. до н. э.). По мнению этих философов, возникновение живых существ – естественный процесс, результат природных сил, а не «акта творения» внешних сил.

Идеи Платона (427–347 г. до н. э.) о двойственности мира – первичном мире идей и вторичном, материальном, мире – сыграли отрицательную роль в развитии взглядов на возникновение жизни. Даже такой разносторонний и самобытный философ, как Аристотель (384–322 г. до н. э.), который колебался между идеализмом и материализмом, признавал бога за высшую форму и перводвижитель. Согласно Аристотелю, организмы могут происходить от организмов, но вместе с тем могут возникать и от неживой материи. Он считает, что материя лишь пассивное начало, возможность, которая может осуществиться только через определенную форму. Бытие содержит внутреннюю цель развития (энтелехию). По Аристотелю, именно энтелехия как целеустремленная внутренняя сущность вдыхает жизнь в материю. Взгляды Аристотеля почти на 2000 лет определяют судьбу идеи о самозарождении жизни,

которая становится предметом ряда идеалистических и мистических трактатов.

Только в середине XVII в. тосканский врач Франческо Реди (1626–1698) предпринимает первые опыты по самозарождению. В 1668 г. он доказал, что белые черви, которые встречаются в мясе, являются личинками мух; если мясо или рыбу закрыть, пока они свежие, и предотвратить доступ мух, то они, хотя и сгниют, но не произведут червей.

Сегодня опыты Реди выглядят наивными, но они представляли собой первый прорыв фронта мистических представлений о формировании живых существ.

Опыты по самозарождению жизни проводит и шотландский ученый Т. Ниидам (1713–1781), но их опровергает итальянец Л. Спалланцани (1729–1799) как совершенно нечисто поставленные. Сам Спалланцани проводит опыты, которые подтверждают выводы Реди о роли стерильности при подобных экспериментах.

Почти через двести лет после Реди в 1862 г. великий французский ученый Луи Пастер (1822–1895) публикует свои наблюдения по проблеме произвольного самозарождения. Он доказывает, что внезапное возникновение («спонтанное самозарождение») микробов в различных видах гниющих настоек или экстрактов не есть возникновение жизни. Гниение и брожение – это результат жизнедеятельности микроорганизмов, чьи зародыши внесены извне. Микробы – сложно устроенные организмы и могут производить себе подобные существа, т. е. живое происходит от живого. Как ученый, который доверяет только результатам научных опытов, Пастер не делает глубоких выводов о происхождении жизни. Однако его исследования окончательно разрушили вековые предрассудки о спонтанном самозарождении.

Независимо от этого после опытов Пастера решение проблемы происхождения жизни стало чуть ли не невозможным. Приверженцы религии с облегчением вздохнули. Разумеется, сам Пастер никогда не утверждал, что жизнь не

может возникнуть первично. Но большинство его современников именно так истолковали его опыты, принимая их за доказательство того, что жизнь не может возникнуть из неживой материи. В связи с этим известный английский ученый Дж. Холдейн отмечает: «По целому ряду исторических причин христианская церковь приняла именно эту последнюю точку зрения, потому что она, по мнению церкви, подчеркивала контраст между духом и материей».

В эти тяжелые для естествознания времена появляются трезвые умы (Т. Гексли, Дж. Тиндал и др.), которые во второй половине XIX в. высказывают предположение, что жизнь возникла в первичном океане из неорганического вещества в результате природного процесса.

В это время возрождается и идея космического посева (панспермии), высказанная еще в V в. до н. э. греческим философом Анаксагором. По его учению, жизнь возникла из семени, которое существует «всегда и везде». Возрождение этой идеи – естественная реакция на кризис в вопросе происхождения жизни, в который попало естествознание в середине XIX в. Тогда этот вопрос выглядел принципиально неразрешимым. И снова выход ищут в самозарождении или привнесении зародышей жизни с других космических тел.

После многовекового сна идея Анаксагора о «вечных семенах» была разбуждена Х. Рихтером в 1865 г. Согласно последнему, зародыши жизни занесены на Землю метеоритами или космической пылью. В развитом и видоизмененном виде гипотеза о космическом посеве (панспермии) разработана шведским физикохимиком Сванте Авенариусом в 1884 г. По Авенариусу, жизнь на Земле произошла от спор растений или микроорганизмов, которые перенесены с других планет под действием светового давления или, возможно, метеоритами. Уже в то время П. Беккерель, а позже и ряд других ученых доказали невозможность переноса в жизнеспособном состоянии (активном или подпадающем активизации) зародышей жизни. На них

губительно действуют космические лучи, особенно коротковолновое ультрафиолетовое излучение, которым пронизана Вселенная.

Идея панспермии жива и сегодня, она предстает в постоянно изменяющихся формах. Согласно одному из новейших вариантов этой гипотезы (называемому еще «инфекционной теорией»), жизнь на Землю была занесена обитателями других планет, которые совершали межпланетные и межзвездные перелеты. Однако этому нет никаких доказательств.

Ни один серьезный ученый сегодня не считает, что жизнь на Земле – исключительное явление во Вселенной. Однако некоторые допускают, что это действительно так и что земная жизнь – единственное счастливое (очевидно, для человека!) исключение. Но тот факт, что до сегодняшнего дня не установлен контакт с другими (внеземными) цивилизациями, еще не доказательство, что жизнь имеет место только на Земле. Вместе с тем признание возможности существования жизни на других планетах вовсе не означает, что «зародыши жизни» с таких внеземных «плантаций» могут беспрепятственно переноситься с одного космического тела на другое. Несмотря на то что проведено и проводится множество целенаправленных исследований, до сих пор не установлено никаких фактов, которые показывали бы, что живые существа принесены на Землю метеоритами или с космической пылью. Все опыты в этом направлении оказываются напрасными даже сейчас, когда человек сам или с помощью аппаратов проникает в ближайший космос. Опубликованные данные Б. Нада и других о микроорганизмах в метеоритах Оргюэй и Ивонна (Франция) оказались результатом ошибочного определения минеральных зерен в качестве некоего окаменелого микроорганизма и вторичного загрязнения поверхности метеорита.

Очевидно, что идея «посева» жизни на Земле из космоса не решает проблемы. Эта идея имеет чисто психологическую привлекательность – мы идем из космоса! Действительно, космос имеет особенно привлекательную силу для современ-

ного человека. Может быть, потому, что в бесконечности космоса сегодня человек предвидит будущие возможности нашей цивилизации, и в этом отношении его интерес вполне естествен. Вероятно, поэтому идея космического «посева» волнует многих.

Одним из современных апостолов гипотезы внеземного происхождения жизни является известный английский ученый, лауреат Нобелевской премии Фрэнсис Крик. Вместе с американским исследователем Лесли Оргелом Крик опубликовал статью, озаглавленную «Управляемая панспермия». По мнению авторов, «некая примитивная форма жизни была сознательно занесена на Землю другой цивилизацией». Если люди на Земле способны занести жизнь на другие планеты, почему бы не допустить, что сама жизнь на Земле есть продукт транспорта другой развитой цивилизации, которая существовала до нас за 4 млрд. лет. Интересно, не правда ли? После американских исследований Марса по программе «Викинг» по обнаружению жизни на этой планете (абсолютно никаких следов жизни не было обнаружено) известный американский писатель, автор научно-фантастических произведений, Рэй Бредбери остроумно писал: «Все-таки следует принять, что отныне на Марсе есть жизнь, та, которую человек донес до Марса, и теперь на Марсе есть наша жизнь!»

Но оставим в стороне этот фантастический исходный пункт статьи Крика и Оргела. Каковы другие предположения и доводы в пользу этой новой вариации на старую тему «посева извне?»

Во-первых, на борту космического корабля внеземной цивилизации «должны были быть» микроорганизмы многих видов. Радиус нашей Галактики составляет около 10^5 световых лет, так что, по Крику и Оргелу, космический корабль, движущийся со скоростью 0,001 скорости света, мог занести жизнь на все планеты нашей Галактики. В этом случае научно доказано только одно: под защитой космического аппарата микроорганизмы действительно могут сохраняться миллионы лет и при температурах, близких к

абсолютному нулю. Остальные предположения, как и поиски призраков, не рассматривает даже фантастика.

Вторым доводом Крика и Оргела в пользу «космического посева» является универсальный характер генетического кода – единого механизма передачи наследственных свойств у всех живых организмов. Если предположить, говорят эти ученые, что жизнь возникла на Земле самостоятельно и одновременно в разных местах, то остается неясным, как сформировался единый для всех земных организмов генетический код. Единый механизм наследственности у земных организмов легко объяснить согласно Крику и Оргелу, если принять, что жизнь на Землю занесена с других планет. Однако для происхождения генетического кода возможно и «земное» объяснение. На ранних этапах химической эволюции, когда формируются сложные молекулы, в результате химического отбора, очевидно, создается и универсальный механизм передачи наследственных черт земными организмами.

Третий довод в пользу рассматриваемой гипотезы: «Присутствие крайне редких элементов в земных организмах означает, что они имеют внеземное происхождение». Крик и Оргел указывают, что молибден содержится в земной коре в незначительном количестве, а его роль в обмене веществ (метаболизме) земных организмов значительна. Одновременно отмечается, что известны так называемые «молибденовые звезды» с высоким содержанием молибдена, которые и являются исходными «плантациями» микроорганизмов, занесенных на Землю! Приведение факта о низком содержании молибдена в земной коре и его большой роли в метаболизме земных организмов было бы ловким приемом в устной дискуссии, чтобы смутить противника. Но написанное остается и может быть проверено. Впрочем, в этом случае проверка не нужна. Подобного типа несоответствие является правилом для целого ряда химических элементов, которые принимают участие в составе и метаболизме организмов. Это правило объясняется с позиций эволюционной биохимии. В свя-

зи с этим можно привести еще более яркий пример о низком содержании фосфора в земной коре и его исключительной роли для земных организмов: фосфор – обязательная составная часть нуклеиновых кислот, которые наряду с белками имеют важнейшее значение для жизни; кроме того, высшая нервная деятельность также очень тесно связана с фосфором. Следовательно, для объяснения некоторых химических особенностей земной жизни не обязательно привлекать другие звездные миры вроде «молибденовых звезд».

Интересно отметить, что риторический трюк Крика и Оргела с молибденом был быстро раскрыт японским ученым Ф. Егани. Через год после статьи Крика и Оргела Егани опубликовал свои исследования содержания металлов в составе Земли. Суммарное содержание молибдена на Земле оказалось действительно низким, но его процентное содержание в морской воде в два раза выше, чем хрома. По этому поводу Егани пишет: «Относительное обилие этого элемента (молибдена) в морской воде подтверждает широко принятую точку зрения о происхождении жизни на Земле в первичном океане».

Как в целом, так и в своих отдельных вариантах гипотеза панспермии – мираж. Независимо от того объясняет ли она историю распространения жизни, она не объясняет возникновения самой жизни. По выражению Дж. Бернала, эта гипотеза только «лукавая уловка ума», которая отвлекает его от решения проблемы. По мнению Бернала, «одинаково бессодержательны и утверждения, что жизнь была создана со специальной целью, и утверждение, что она пришла откуда-то из другого места, где была всегда». Так как если даже и допустить, что жизнь принесена с других космических тел, то подобное допущение ничем не помогает в решении проблемы происхождения жизни. «Все-таки жизнь, – пишет Опарин, – когда-то и где-то должна была возникнуть на эволюционном пути, а Земля, как показывают современные научные данные, была для этого вполне подходящим местом». Вот почему нет необходи-

мости привлекать другие созвездия, удаленные от нас на миллионы световых лет, чтобы узнать тайну жизни. Эти тайны скрыты здесь – на Земле, где люди открывают горизонты науки, любят фантастику, но уже перестали верить в призраки.

Уже установлено достаточно фактов, которые показывают, что физико-химические условия океана не противоречат идее земного происхождения жизни. Процентное содержание отдельных металлов одинаково у бактерий, губок, растений, животных и в океанской воде.

Однако вернемся к началу XX в. Все большее число ученых склонно признать, что проблема возникновения жизни не может быть решена наукой. Основания для такого мнения налицо: тысячелетнее господство религиозных мифов о сотворении мира и наивные представления о самозарождении заменяются умозрительными гипотезами и новыми мифами о космическом посеве. В научной среде в начале века остро реагировали на всякую умозрительную попытку объяснить мир вокруг нас. Знаменитый английский физик Резерфорд часто говорил: «Только бездельник говорит о Вселенной в моей лаборатории!» Но человечество (за исключением, может быть, представителей традиционного британского эмпиризма) не только с помощью поэтов и философов, но и добросовестных ученых стремилось познать Вселенную и жизнь как ее детище.

Есть нечто символичное в том, что основы современной теории происхождения жизни заложены в один прекрасный майский день. 3 мая 1924 г. на собрании Русского ботанического общества молодой советский ученый А. И. Опарин с дерзостью, присущей молодости, позволил себе с новой точки зрения рассмотреть проблему возникновения жизни. Его доклад «О возникновении жизни» стал исходной точкой нового взгляда на вечную проблему «откуда мы пришли?». Пять лет спустя независимо от Опарина сходные идеи были развиты английским ученым Дж. Холдейном. Общим во взглядах Опарина и Холдейна является попытка объяснить возникновение жизни

в результате химической эволюции на первичной Земле. Оба они подчеркивают огромную роль первичного океана как огромной химической лаборатории, в которой образовался «первичный бульон», а кроме того, и роль энзимов – органических молекул, которые многократно ускоряют нормальный ход химических процессов. В дополнение к этому Холдейн впервые высказывает идею, что первичная атмосфера на Земле, «вероятно, содержала очень мало или вообще не содержала кислорода».

Согласно Дж. Берналу, «труд Опарина содержит в себе основы новой программы химических и биологических исследований». Идеи Опарина вдохновили многих ученых на новые целенаправленные исследования, результаты которых начинают открывать тайну жизни – эту мучительную и сладкую загадку для человека.

На следующих страницах рассказывается о современных взглядах на происхождение жизни, которые основаны на идеях Опарина и Холдейна.



ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ

Большинство современных специалистов убеждены, что возникновение жизни в условиях первичной Земли есть естественный результат эволюции материи. Это убеждение основано на доказанном единстве химической основы жизни, построенной из нескольких простых и самых распространенных во Вселенной атомов (табл. 2).

Исключительное морфологическое разнообразие жизни (микроорганизмы, растения, животные) осуществляется на достаточно единообразной биохимической основе: нуклеиновые кислоты, белки, углеводы, жиры и несколько более редких соединений типа фосфатов.

Основные химические элементы, из которых построена жизнь, – это углерод, водород, кислород, азот, сера и фосфор. Очевидно, организмы используют для своего строения простейшие и наиболее распространенные во Вселенной элементы, что обусловлено самой природой этих элементов. Например, атомы водорода, углерода, кислорода и азота имеют небольшие размеры и способны образовывать устойчивые соединения с двух- и трехкратными связями, что повышает их реакционную способность. Образование сложных полимеров, без которых возникновение и развитие жизни вообще невозможно, связано со специфическими

химическими особенностями углерода.

Другие два биогенных элемента – сера и фосфор – присутствуют в относительно малых количествах, но их роль для жизни особенно важна. Химические свойства этих элементов также дают возможность образования кратных химических связей. Сера входит в состав белков, а фосфор – составная часть нуклеиновых кислот.

Кроме этих шести основных химических элементов в построении организмов в малых количествах участвуют натрий, калий, магний, кальций, хлор, а также микроэлементы: железо, марганец, кобальт, медь, цинк и небольшие следы алюминия, бора, ванадия, иода и молибдена; следует отметить и некоторые исключительно редкие атомы, которые встречаются случайно и в ничтожных количествах.

Следовательно, химическая основа жизни разнообразится еще 15 химическими элементами, которые вместе с шестью основными биогенными элементами участвуют в различных соотношениях в строении и осуществлении функций живых организмов. Этот факт особенно показателен в двух отношениях: 1) как доказательство единства происхождения жизни и 2) в том, что сама жизнь, являющаяся результатом самоорганизации материи, включила в

Таблица 2. Относительное содержание основных химических элементов в космическом веществе и организмах

Элемент	Содержание, %			
	Вселенная	Солнце	Растения	Животные
Водород	81,76	87,0	10,0	10,0
Гелий	18,17	12,9	*	*
Азот	0,33	0,33	0,28	3,0
Углерод	0,33	0,33	3,0	18,0
Магний	0,33	0,33	0,03	0,05
Кислород	0,3	0,25	79,0	65,0
Сера	0,01	0,004	0,15	0,254
Железо	0,01	0,004	0,15	0,254
Кремний	0,01	0,004	0,15	0,254
Другие	0,001	0,04	7,49	3,696

эволюцию биологических макромолекул не только все самые распространенные элементы, но и все атомы, которые особенно пригодны для осуществления жизненных функций (например, фосфор, железо, иод и др.). Как отмечает советский ученый М. Камшилов, «для осуществления функций жизни важны химические свойства ее атомов, к которым, в частности, относятся квантовые особенности». Не только структура, обмен веществ, но даже и механические действия живых организмов зависят от составляющих их молекул. Это, однако, не означает, что жизнь может быть сведена просто к химическим закономерностям.

Жизнь — одно из сложнейших, если не самое сложное явление природы. Для нее особенно характерны обмен веществ и воспроизведение, а особенности более высоких уровней ее организации обусловлены строением более низких уровней.

Современная теория происхождения жизни основана на идее о том, что биологические молекулы могли возникнуть в далеком геологическом прошлом неорганическим путем. Сложную химическую эволюцию обычно выражают следующей обобщенной схемой: атомы → простые соединения → простые биоорганические соединения → макромолекулы → организованные системы. Начало этой эволюции положено нуклеосинтезом в Солнечной системе, когда образовались основные элементы, в том числе и биогенные. Начальное состояние — нуклеосинтез — быстро переходит в про-

цесс образования различных по сложности химических соединений. Этот процесс протекает в условиях первичной Земли со все нарастающей сложностью, обусловленной общекосмическими и конкретными планетарными предпосылками.

Первое необходимое условие имеет общекосмический характер. Оно связано с единой химической основой Вселенной. Жизнь развивается на этой единой основе, отражающей как количественные, так и качественные особенности отдельных химических элементов. Это допущение приводит к заключению, что на любой планете во Вселенной, которая похожа на нашу по массе и расположению относительно центральной звезды, может возникнуть жизнь. Согласно представлениям видного американского астронома Х. Шепли, во Вселенной имеется 10^8 космических тел (планет или звезд-лилипутов), на которых может возникнуть и существовать жизнь.

Главное условие возникновения жизни имеет планетарную причину и определяется массой планеты. Такое утверждение, быть может, имеет несколько геоцентрический и антропоцентрический характер, но жизнь, подобная земной, могла возникнуть и развиваться на планете, масса которой имеет строго определенную величину. Если масса планеты больше чем $1/20$ массы Солнца, на ней начинаются интенсивные ядерные реакции, что повышает ее температуру, и она светится, как звезда. Таковы планеты Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Планеты с

малой массой (например, Меркурий) имеют слабое гравитационное поле и не могут продолжительное время удерживать атмосферу, которая необходима для развития жизни. Здесь интересно отметить, что по ряду подсчетов Земля приобрела 80% своей массы в первые 100 млн. лет своего существования.

Из планет Солнечной системы кроме Земли подходящую массу имеют Венера и Марс, но там отсутствуют другие условия. По мнению советского астрофизика В. Г. Фесенкова, во Вселенной 1% планет имеет подходящую массу.

Особенно важной предпосылкой возникновения и развития жизни является относительно постоянная и оптимальная радиация, получаемая планетой от центральной звезды. Обычно оптимальную радиацию получают планеты, имеющие орбиту, близкую к круговой, и подвергающиеся поэтому относительно постоянному облучению.

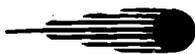
Обязательным условием возникновения жизни является наличие воды. Парадоксально, что, хотя вода — чуть ли не самая распространенная молекула во Вселенной, поразительно мало планет имеют гидросферу: в нашей Солнечной

системе только Земля имеет гидросферу, а на Марсе имеется лишь незначительное количество воды.

Значение воды для жизни исключительно. Это обусловлено ее специфическими термическими особенностями: огромной теплоемкостью, слабой теплопроводностью, расширением при замерзании, хорошими свойствами как растворителя и др. Эти особенности обуславливают круговорот воды в природе, который играет исключительную роль в геологической истории Земли.

Из сказанного выше можно сделать следующий вывод: возникновение жизни на Земле есть часть общей эволюции материи во Вселенной, а не некий сверхъестественный акт. Налицо были исходные органические соединения, оптимальная масса Земли, оптимальная солнечная радиация, наличие гидросферы. В этих условиях эволюция материи с высокой степенью вероятности осуществляется по пути возникновения жизни.

За последние 20 лет были получены интересные сведения о наличии органических соединений во Вселенной. Источники этих сведений — естественные посланцы космоса на Землю, метеориты.



ЧТО ПОКАЗЫВАЮТ МЕТЕОРИТЫ?

Метеориты — малые космические тела, которые падают на Землю. В зону притяжения нашей планеты каждый год попадает около 5000 метеоритов массой более 1 кг, но менее 1% из них достигают земной поверхности. Они образуются в Солнечной системе и большей частью происходят от астероидов массой более 50 кг. Целый рой таких астероидов (около 10^{15}) движется между Марсом и Юпитером. Возраст метеоритов близок к возрасту Солнечной системы.

По составу различают каменные, железные и железокремнистые метеориты. По особенностям структуры и наличию сферических образований (хондр) некоторые

каменные метеориты называются хондритами. Особый интерес представляют углистые хондриты. Причин тому две: 1) вероятность того, что при их изучении будут получены данные о добиологической эволюции органических молекул; 2) неясность происхождения ряда элементов их структуры — до последнего времени некоторые исследователи считали минеральные образования в хондритах фосфатизированными микроорганизмами. Однако углистые хондриты очень редки — за последние 150 лет обнаружено 25–28 метеоритов этой группы. Так как загрязнение метеоритов биологическими веществами на Земле является дока-

занным фактом, нет необходимости рассматривать сомнительные сообщения о находках в них «организованных микро-структур» биологического происхождения, тем более что авторы таких сообщений (например, Над и другие о метеорите Orgueil) после первых сенсационных сведений позже находили иное объяснение наблюдаемых структур.

При исследовании двух метеоритов – первый упал в 1950 г. возле Мори (шт. Кентукки, США), а второй – у Мерчисона (шт. Виктория, Австралия) в 1969 г. – в их составе обнаружены отдельные аминокислоты – строительный материал белков в живых организмах. В метеорите Мерчисон открыты и жирные кислоты, из которых построены жиры в живых тканях.

Из аминокислот идентифицированы глютаминовая кислота, пролин, глицин, саркозин, аланин, валин и 2-метилаланин, а из жирных кислот – 17 видов.

Эти результаты особенно важны, поскольку они получены по метеоритам, упавшим в противоположных частях света с промежутком в 19 лет.

Известно, что все аминокислоты существуют в двух вариантах, которые являются зеркальным отражением друг друга. Они обозначаются L и D. Оба варианта идентичны. При лабораторном синтезе аминокислот, при котором не участвуют вещества, полученные из живой ткани, всегда образуются в равном количестве L- и D-аминокислоты.

Живые ткани земных организмов ведут начало, вероятно случайно, от L-группы аминокислот. Химические реакции осуществляются при участии энзимов, построенных исключительно из L-аминокислот. Это свойственно всем земным организмам – от бактерий до человека.

В метеоритах установлено почти равное количество L- и D-форм аминокислот. Это показывает, что они образовались без участия энзимов (белковых катализаторов) и, следовательно, имеют абиогенное происхождение. Это подтверждается и тем фактом, что среди обнаруженных аминокислот имеются саркозин, 2-метилаланин и некоторые другие виды

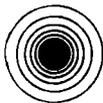
аминокислот, которые не встречаются в белках.

Об абиогенном происхождении метеоритных органических соединений свидетельствуют и газовые хроматограммы алканов.

Жирные кислоты земных организмов имеют четное количество углеродных атомов, тогда как жирные кислоты с нечетным количеством атомов углерода нехарактерны для живых тканей на Земле. При химических реакциях, которые осуществляются без участия живых существ или веществ биогенного происхождения, образуется приблизительно равное количество жирных кислот с четным и нечетным количеством атомов углерода. То же показывают и результаты анализа метеорита Мерчисон.

Согласно К. Квенволдену и другим, аминокислоты и углеводородные соединения в метеорите Мерчисон имеют явно эндогенное происхождение и не являются результатом внешнего загрязнения. Об этом свидетельствуют: 1) преобладание глицина над другими аминокислотами, 2) положительные величины показателя ^{13}C , 3) наличие аминокислот, которые несвойственны белкам.

До недавнего времени метеориты были единственным доступным для исследования материалом других космических тел. Выход человека в ближайший космос позволил получить образцы с Луны (американские экспедиции «Аполлон-11, 12 и 14», советские автоматические станции «Луна»). При исследовании образцов лунного грунта в них обнаружены следующие аминокислоты: глицин, глютаминовая кислота, аланин, аспаргиновая кислота и серин. По мнению С. Фокса и К. Дозе, следует говорить не об аминокислотах, а только об их предшественниках, поскольку извлечение (или образование) аминокислот осуществлялось путем гидролиза. «Гидролиз, – пишут Фокс и Дозе, – был распространенным процессом в геологическом масштабе, так как вода присутствует повсеместно. Именно поэтому предшественники (аминокислот), обнаруженные в лабораторных опытах, являются, по всей вероятности, и предшественниками их в эволюции».



ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В МЕЖЗВЕЗДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Изучение особенностей межзвездной среды началось в начале нашего века. К 1930 г. было установлено, что она состоит преимущественно из атомов водорода и небольших количеств гелия, углерода, азота и кислорода. Плотность межзвездной среды примерно в 14 раз ниже плотности земной атмосферы на уровне моря. Вот почему предположение, что межзвездная среда состоит только из единичных атомов, выглядит вполне естественным, ибо чтобы два атома образовали молекулу, им необходимо сблизиться, а такая ситуация из-за удаленности атомов возможна только через большой промежуток времени. Однако эти предположения, хотя и логичные, не подтверждаются. Первые двухатомные комбинации были обнаружены в 1937 г. – это радикалы CN и C .

За последние 10–15 лет успехи радиоастрономии позволили сделать крупные открытия, которые заложили основы астрохимии. В период с 1968 по 1970 г. с помощью радиоспектрометрии было открыто межзвездное органическое вещество. Были опубликованы первые сообщения об открытии воды, формальдегида и аммиака в отдельных областях нашей Галактики. Согласно Фоксу и Дозе, открытие этих соединений «позволяет утверждать, что химическая эволюция в космосе продвинулась вперед значительно дальше, чем предполагалось ранее». Очевидно, что исходные вещества для образования аминокислот, азотистых оснований и нуклеиновых кислот существовали ранее и существуют сегодня во Вселенной.

Гидроксил OH , формальдегид H_2CO и окись углерода CO – самые распространенные молекулы в межзвездной среде. Они обнаруживаются повсюду в Галактике, тогда как в отдельных межзвездных областях встречаются и другие соединения. В нашей Галактике существует около 3000 таких межзвездных туманностей, общая масса которых более чем в

20 раз превышает массу Солнца. Плотность этих туманностей больше, чем межзвездной среды, и молекулы возникают чаще. Ясно, что атомы углерода играют главную роль в образовании органических молекул, которые имеют в живых организмах основное значение. Вероятно, это связано со способностью углерода к универсальному образованию бесчисленного количества комбинаций с другими атомами.

При таком положении возникновение жизни выглядит неизбежным. В туманностях космического пространства уже при образовании звезд и планет возникают молекулы, которые приводят к формированию более сложных молекул аминокислот, жирных кислот, пуринов, пиримидинов и других главных составных элементов жизни.

Современные научные данные неизбежно приводят к мысли, что все планеты, которые достаточно велики и холодны, содержат соединения, могущие дать начало жизни. Если одна из планет имеет подходящую массу, достаточно холодная и облучается одним Солнцем, то в ней может содержаться большое количество разнообразных органических молекул. Дальнейший ход химической эволюции продолжается с этого начального состояния, большие потенциалы которого заложены еще в космосе. И это является первым шагом к возникновению более сложно организованной материи и представляет хотя и не появление самой жизни, но подготовку к ее возникновению. Может быть, это имел в виду Дж. Бернал, когда говорил о «происхождении преджизни – той, что наблюдается в метеоритах Солнечной системы», т. е. представленной сложными органическими молекулами, которые при последующей эволюции образуют строительные блоки земной жизни.

«В науке действительно есть нечто волнующее: такие далеко идущие и всеохватывающие гипотезы она спо-

собна строить на основании скудных фактических данных». Эти слова принадлежат неповторимому Марку Твену. Они написаны по другому поводу в «Жизни на Миссисипи», но поднимают занавес перед необычной сценой, на которой постоянно находятся «актеры», пытающиеся играть главные роли и при этом придумывающие текст и ход действия на самой сцене.

Действительно, наука нуждается в гипотезах, часто они становятся руководящей идеей. При этом всякая гипотеза содержит элемент игры: а что будет, если... Прекратится ли или продолжится дальше игра — это зависит от опыта. Именно опыт, а не так называемый здравый смысл имеет определяющее значение для проверки любой гипотезы.

Науке о жизни трудно дышать от гипотез. Настает время проверки. Издавна было известно, что химики могут синтезировать органические вещества, но идея постановки модельных опытов по синтезу органических веществ путем воспроизведения условий первичной Земли представлялась не менее фантастичной, чем многие гипотезы. Разумеется, никто не считает, что можно точно воспроизвести условия гигантской естественной химической лаборатории, какой была Земля 4,5–5 млрд. лет назад. Речь идет о приближительном моделировании теоретически предполагаемых условий первичной Земли: бескислородная атмосфера, наличие исходных химических соединений: метана, воды, аммиака и источника (или источников) энергии.

Первый целенаправленный опыт по синтезу органических молекул, пригодных для развития жизни, из предполагаемых исходных компонентов ранней земной атмосферы был проведен В. Гротом и Х. Зюссом в 1938 г. После облучения ультрафиолетовыми лучами газовой смеси CO_2 и H_2O они получили формальдегид и глиоксаль. По мнению Грота и Зюсса, результаты этих опытов объясняют образование некоторых органических соединений, «которые, вероятно, были необходимой предпосылкой эволюции органической жизни».

Позже У. Харрисон, М. Келвин

и другие (1951) подвергают экспериментальной проверке идеи Опарина и Холдейна. Они облучали α -частицами водные растворы, содержащие ионы двухвалентного железа, которые находились в равновесии с газовой смесью двуокиси углерода и водорода. Получены формальдегид, муравьиная и янтарная кислоты.

В 1953 г. Стенли Милор, аспирант-астрофизик знаменитого Г. Юри в Чикагском университете, проводит опыт, который позже был назван классическим. Газовая смесь метана, аммиака, водяных паров и водорода (доступа свободного кислорода в колбу не было) подвергалась Милором воздействию сильных электрических разрядов, при этом получались аминокислоты, сахара и ряд других органических соединений. Огромное значение опыта Милора состоит в доказательстве возможности неорганического пути образования белковоподобных молекул в условиях первичной Земли.

Опыт Милора обогатил науку и послужил сильным толчком к новым исследованиям. Т. Павловская и А. Паскинский в Институте биохимии АН СССР своими опытами и термодинамическими расчетами доказали возможность образования сложных органических веществ в условиях первичной Земли. А. Уилсон, добавляя серу к «исходной смеси Милора», получил крупные полимерные молекулы с 20 и более атомами углерода. С. Понамперума использовал в опытах ультрафиолетовую лампу как источник энергии — ведь в условиях молодой Земли ультрафиолетовое излучение давало основную энергию. Понамперума сумел получить не только аминокислоты и пурины (строительные блоки соответственно для белков и нуклеиновых кислот), но и синтезировал эти молекулы в полимеры. С. Фокс из Института молекулярной эволюции в Майами синтезировал почти все аминокислоты, без которых жизнь была бы невозможна. Фокс «сварил» из аминокислот так называемые «термические протеноиды», близкие по составу к белкам. При этом протеноиды превратились в приготомленном Фоксом бульоне в тонкие капли, подобные коацерватам Опарина. Именно с таких обра-

зований началась, согласно Опарину, жизнь на Земле.

Список экспериментальных исследований очень велик. Основные их результаты показывают, что химическая эволюция – не плод досужего ума, а закономерный естественный процесс, который закладывает основы жизни. Среди громов и молний, под палящими лучами Солнца на горячей груди Земли в примитивном океане засверкали первые искры жизни.

Опыты показали, что направления, в которых могла осуществиться химиче-

ская эволюция, были многочисленны, но в условиях Земли она неизбежно привела к возникновению жизни. От химического разнообразия и структурной простоты эволюция приводит к огромному морфологическому разнообразию и химическому единству живых организмов. Но и это единство, как будет показано, не есть чудо. А. Варшавский остроумно отмечает, что библейская легенда о сотворении человека из глины не верна хотя бы потому, что в нашем теле нет ни алюминия, ни кремния – естественных составных элементов глинистых минералов.



ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА МОЛОДОЙ ЗЕМЛЕ

Первые препятствия, которые встретились на пути развития органических молекул, – это новые условия на молодой Земле. Наряду с влиянием космических факторов (жизнь от своего возникновения до настоящего времени еще отливается эхом на солнечные бури!) появляются новые специфические планетарные факторы: развитие литосферы, атмосферы и гидросферы.

Однако это было не только простым препятствием перед ранней эволюцией, но и волнующим вызовом, на который жизнь достойно ответила своим возникновением: она сама создала область своего существования – биосферу. Некоторые специалисты правомерно считают, что родоначальником жизни был не первый организм, а первая биосфера. Нечто типа «Соляриса» Станислава Лема, осуществленного на первичной Земле.

Живые организмы имеют неограниченную потенциальную возможность размножаться, которая обусловлена синтезом макромолекул в протоплазме. Эта неограниченная возможность к воспроизводству находится в постоянном противоречии с конкретными условиями среды. Такое противоречивое взаимодействие – один из конструктивнейших факторов эволюции земной жизни.

Замечательной чертой жизни является ее самоорганизация как открытой системы, находящейся в постоянном взаимодействии с окружающей средой. «Жизнь не есть внешне случайное явление на земной поверхности, – пишет видный советский ученый академик В. И. Вернадский. – Она связана теснейшим образом со строением земной коры, вмешивается в ее механизм и выполняет функции величайшего значения в этом механизме». В своей миллиардолетней истории организмы связаны сложной цепью взаимодействия между собой и в то же время как целое и как отдельные единицы находятся в тесном взаимодействии с Землей: земной поверхностью, водными бассейнами, воздухом. С момента своего возникновения живые организмы начинают играть исключительно важную и разнообразную геологическую роль. Они выступают не только как великие конструкторы, но и как замечательные двигатели и регуляторы ряда сложных геологических и геохимических процессов.

Сегодня общее количество живого вещества относительно мало – 0,1% массы земной коры. Однако по своей всеохватности и химической активности жизнь – одна из могущественных геологических

сил. Сами дети химической эволюции, живые организмы становятся могущественной химической силой, которая действует на Земле в течение 3,8 млрд. лет. С самого своего появления организмы заняты «освоением своего дома» — Земли.

Когда великого кибернетика У. Эшби спросили: «Есть ли жизнь на Марсе?», он ответил: «А давно ли там установлен порядок?» В этом ответе-вопросе содержится глубокий смысл. Необходим порядок в организации материальных факторов, чтобы началась самоорганизация жизни.

Манфред Эйген, лауреат Нобелевской премии, пишет в своей книге «Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул»: «В «начале» — какой бы смысл ни имело это понятие, — вероятно, существовал молекулярный хаос, и в гигантском многообразии химических соединений не было никакой функциональной организации». Для таких слов имеются все основания. Но как не вспомнить «Метаморфозы» Овидия:

Некогда море, земля и над всем
распростертое небо
Лицом природы единым были
в огромной Вселенной.
Названный хаос — громада,
сурова и неразделима...

Под «хаосом» следует подразумевать не столько бессмысленно нагроможденное нечто, сколько наличие множества неотделенных друг от друга возможностей. Порядок начинается в тот момент, когда исчезает мир равных возможностей.

Основы порядка (конца хаоса) были заложены, вероятно, при завершении первого космического этапа, когда образовалась Земля как отдельная планета. Создается первый уровень организации в сложной системе Земли. Этот этап продолжался около 1 млрд. лет.

Второй этап тесно связан с космическим, от которого его трудно отделить. В начале этого этапа (первые 100 млн. лет) Земля образует более 80% своей массы. Некоторые обозначают его как догеологический. Этот этап — не просто время, а в полном смысле слова знаменательная

эпоха, когда образуются первые минералы, первые слои и формируется макроструктура планеты с ее геосферами. Закладываются основы земной коры, образуются гидросфера и атмосфера, начинается образование первой, примитивной биосферы. Включаются в работу геологические часы, показания которых о том далеком времени очень неясны. Характеризуя этот этап, Р. Баландин остроумно вспоминает гоголевского героя: «Числа не помню. Месяца тоже не было. Было черт знает что такое». Таков первый миллиард лет жизни на планете. Однако в это время ликвидирован хаос и установлен порядок.

Земная кора уже твердая, но все еще тонкая и подвержена размягчению в отдельных областях вследствие тектонических напряжений. Она состоит главным образом из соединений кремния, алюминия, железа, кальция, магния, натрия, калия, а также ряда малозначимых соединений, в том числе и органических веществ. В мантии под корой вследствие гравитационного разделения накапливаются преимущественно силикаты железа и магния.

Роль земной коры для молекулярной эволюции очень велика. Из нее организмы черпают металлы и другие неорганические и органические компоненты, необходимые для построения тела и обмена веществ.

Земная кора дает опору жизни, но ее колыбелью становятся первые водные бассейны. Действительно, существуют некоторые гипотезы, согласно которым жизнь возникла не в водном бассейне, а на земной поверхности в пыли, образованной метеоритным «дождем». Эти гипотезы напоминают фантастический роман «Черное облако» английского астронома Ф. Хойла. В нем описано существование в межзвездном пространстве высокоразвитого разумного существа, состоящего из пыли и газов. На подобные идеи можно ответить словами Артура Кларка: «Меня интересует наука и научная фантастика, а не фальсификация».

Жизнь, такая, как мы ее знаем, не могла возникнуть без свободной воды.

Для живой материи необходима именно свободная, а не связанная в гидраты вода или лед, которые обнаруживаются, например, в метеоритах или на других планетах.

Наличие воды в телах организмов указывает на ее огромное значение для жизненных процессов. Низшие организмы содержат 95–99% воды, а высшие – 80%. При уменьшении ее количества до определенного уровня наступает смерть.

Химические свойства и физические параметры воды определяют ее роль как необходимого компонента и главной составной части живой материи. По Берналу, физические константы воды показывают, что жизнь могла возникнуть и развиваться в пределах температурного интервала 10–40°C. Высказываются также мнения, что жизнь могла возникнуть как продукт гидротермальных процессов, но подобные взгляды совершенно неосновательны, хотя гидротермальные процессы, бесспорно, поставляли вещества для химической «кухни».

Недавно группой советских ученых из лаборатории космической биохимии при АН СССР было установлено, что аминокислоты в вулканическом пепле вступают в сложные химические реакции. Оказалось, что при температуре 96–150°C они соединяются с порфиринами (составной частью белков). Вулканический пепел в этом случае играет роль катализатора, который ускоряет химические реакции в тысячи раз. Мы видим, что аминокислоты, как и ряд других органических молекул, обнаружены и могут синтезироваться в различных условиях, в том числе в условиях межзвездной среды. Впрочем, как неоднократно было показано, образование сложных органических соединений при относительно высокой температуре не есть доказательство «огненного начала» жизни. Это лишь исходные составные блоки живой материи – может быть, преджизнь, но не жизнь. Истинная жизнь не могла бы возникнуть в кипящем «котле».

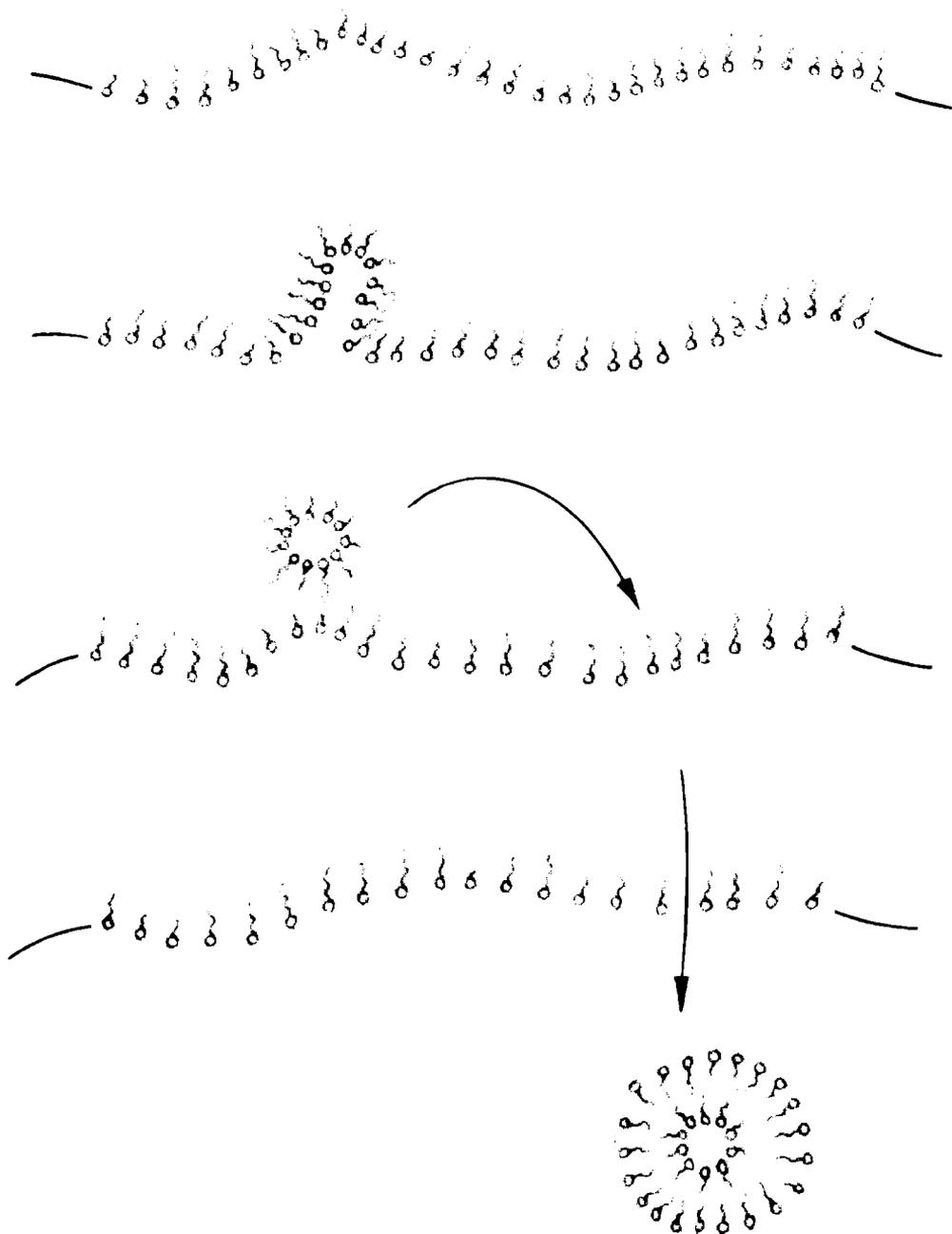
Трудно описать состояние гидросферы в первые 100–200 млн. лет существования Земли. По мнению многих, на

молодой Земле было около одной десятой массы воды, содержащейся в современном океане. Остальные девять десятых образовались позже за счет дегазации внутренних частей Земли. Именно в результате выделения газа и пара из мантии сформировались гидросфера и атмосфера. В веществе мантии содержится 0,5% воды, но даже 10% этого количества достаточно для образования всего сегодняшнего объема океана. Вероятно, океанская вода с самого начала была соленой. При дегазации вещества мантии воды насыщались анионами хлора, брома и других элементов, а также CO_2 , H_2S , SO_2 . Это создавало легкий кислотный характер праокеану, который нейтрализовался за счет щелочных компонентов, вымываемых дождями из базальтовой коры и выносившихся реками в океан. Это катионы натрия, магния, кальция, калия и других элементов.

Ранняя эволюция гидросферы (океаны, моря, континентальные водные бассейны) протекала при отсутствии газообразного кислорода. В этих условиях и при наличии бескислородной атмосферы могли возникнуть только анаэробные организмы.

Благодаря химическим и физическим (особенно термическим) свойствам воды, а также своей массе океан способен регулировать процессы не только в своей сфере, но также и вне ее – например, в атмосфере. Он сосредоточивает в себе огромную часть солнечной энергии и управляет целой сложной системой взаимосвязанных процессов на Земле.

Ультрафиолетовые лучи проникают в толщу воды на глубину 19–20 м. Это могло спровоцировать фотохимические преобразования органических соединений, образующихся в атмосфере. Фокс и Дозе считают, что накопление органических молекул в океане было маловероятным. Действительно, представление о «густом бульоне», развитом на широкой площади, чуть ли не глобально, противоречит законам термодинамики. Но выражение «океан как огромная химическая лаборатория» следует принимать в образном, а не в буквальном смысле слова. В химическом и физическом отноше-



*Образование коацерватных
капель в мономолекулярном
слое липидов на границе «воз-
дух-вода» под действием
волн (по Хагису, 1964)*

нии океан никогда не был гомогенной массой. Бернал указывает на морскую пену как пример высокой концентрации органического вещества. Вследствие скопления на поверхности воды могут образоваться гнезда с концентрациями активных органических соединений, в тысячи раз превышающими их содержание в окружающей среде. Такие гнезда на поверхности океана, в устьях рек и в прибрежной зоне создавали возможности укрупнения молекул и возникновения сложных биополимеров. «На современном этапе нашего познания происхождения жизни,— пишет Бернал,— не имеет решающего значения то, каков был точно механизм аккумуляирования предорганизованных частей молекул. Достаточно принять, что это было, что именно такие концентрированные растворы необходимы для дальнейшего развития полимеризации».

В последние годы океанологи установили, что органическое вещество встречается во взвешенном состоянии в виде отдельных частиц гораздо чаще, чем считалось раньше. Впервые такие агрегаты были открыты в проливе Ист-Ривер у берегов острова Лонг-Айленд, а позже — и в открытом море. Полагают, что основную роль в формировании таких скоплений органических веществ играет образование пены в океане. Органические вещества образуют тонкую мономолекулярную пленку на поверхности океана, которая разрушается волнами. Взбитые последними они приобретают сферическую форму и падают снова в воду, при этом они могут погрузиться на некоторую глубину и сохраняться там в виде мелких коацерватных капель.

Процесс концентрации органических веществ может происходить при отливах, испарении воды в лагунах, а также при волнении, как отмечалось выше.

Новейшие научные данные все больше подтверждают мнение, что жизнь возникла не в открытом океане, а в шельфовой зоне моря или в лагунах, где были наиболее благоприятные условия для концентрации органических молекул и образования сложных макромолекулярных систем.

Сегодня общепризнано, что в начале своего существования Земля не имела атмосферы. Газовые компоненты того материала, из которого образовалась планета и ее первичная атмосфера, рассеялись в космическом пространстве вследствие слабого гравитационного поля Земли в то время. Уже в первые 100 млн. лет существования Земли происходило образование вторичной атмосферы за счет сильного выделения газов при вулканических извержениях. Эта атмосфера названа примитивной, она отличалась практически полным отсутствием свободного кислорода. Примитивная атмосфера состояла из водорода, метана, аммиака, воды, редких инертных газов, а также ряда элементов, многие из которых могли быть катализаторами химических процессов.

В начале примитивная атмосфера не содержала молекулярного кислорода O_2 и имела восстановительный характер. Свидетельством отсутствия кислорода в примитивной атмосфере служат следующие факты: 1) на ранних этапах молекулярный кислород образовывался при фотоллизе океанской воды под воздействием ультрафиолетового излучения, однако с увеличением концентрации кислорода в атмосфере усиливалась его экранирующая роль по отношению к ультрафиолетовым лучам, и это сдерживало дальнейший синтез молекулярного кислорода; 2) вулканические извержения практически не содержат кислорода; 3) кислород вначале интенсивно поглощался различными породами; 4) лабораторные опыты показывают, что наличие молекулярного кислорода в примитивной атмосфере помешало бы химической эволюции дойти до стадии образования сложных органических макромолекул; 5) образовавшиеся на раннем этапе органические вещества не могли бы существовать продолжительное время в присутствии кислорода; 6) биохимические исследования свидетельствуют о том, что первые организмы были анаэробными; 7) появление фотосинтезирующих организмов лучше объясняет возникновение и эволюцию кислородной атмосферы, чем процессы прямой диссоциации океанской воды.

Таблица 3. Основные компоненты атмосферы, гидросферы и литосферы в эпоху примитивной атмосферы (по Дж. Берналу)

Атмосфера	Гидросфера	Литосфера
CO ₂ (или CH ₄)	H ₂ O	SiO ₂
N ₂	NH ₄ HCO ₃ } H ₂ S } NaCl } KCl } KH ₂ PO ₄ }	AlSiO(OH), Fe(OH) ₂
NH ₃ } H ₂ S } H ₂ O }		Низкие кон- (глина) центрации CaCO ₃ (известняк неорганического происхождения)

Первые организмы в примитивной бескислородной атмосфере накапливали энергию для своего роста путем ферментации («жизнь без кислорода», по словам Пастера). Переход от ферментации к дыханию обозначается как эффект Пастера или точка Пастера. Чтобы этот переход произошел, необходимо наличие достаточного количества кислорода, составляющего 0,01% его современного количества в атмосфере.

Отсутствие или очень незначительное количество окислов в древнейших породах подтверждает мысль о первично бескислородной атмосфере. Кроме того, в

архее и раннем протерозое образовались осадочные породы, которые содержат наряду с кварцем и другие минералы: сульфиды железа (пирит), олова, цинка, а также уранинит и другие подобные минералы, неустойчивые в кислородной атмосфере. Переход от бескислородной атмосферы к кислородной произошел, вероятно, 2–1,8 млрд. лет назад. Предполагается, что тогда содержание O₂ в атмосфере достигло 0,01% от современного. Кислородная атмосфера формировалась медленно, в продолжение миллиардов лет, прежде чем достигла современного состава.



ЭВОЛЮЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПЕРВИЧНОЙ ЗЕМЛЕ

Биохимическая эволюция начинается с момента образования земной коры, т. е. около 4,5 млрд. лет назад. Ее корни уходят в ранний космический этап химической эволюции. Находки древнейших молекулярных ископаемых возрастом 3,5–3,8 млрд. лет показывают, что биохимическая эволюция, которая привела к образованию первой клетки, продолжалась около 1 млрд. лет. Образование клетки и было самым трудным на этом долгом пути.

Как уже отмечалось, исходный материал для биохимической эволюции был заготовлен раньше, на космическом этапе развития и в начале формирования первичных литосферы, гидросферы и атмосферы. Для этого имелось достаточно источников энергии: солнечное излуче-

ние, тепловая энергия земных недр, высокоэнергетическая радиация, электрические разряды (молнии и гром, при котором возникают сильные ударные волны). Вероятно, тогда же возникли основы естественного отбора важных биохимических молекул.

Имевшееся количество химических элементов и наличие мощных источников энергии приводят к образованию огромного количества молекул. Путем конденсации (концентрации) этих простых молекул (метан, аммиак, вода и др.) образуются основные биохимические молекулы: некоторые аминокислоты, являющиеся основой белков; некоторые органические основания, такие, как аденин, которые являются компонентами нуклеиновых кислот; некоторые сахара,

например рибоза, и их фосфаты; простые азотсодержащие молекулы, например порфирины, которые являются важным компонентом ферментов (энзимов), и т. п. На следующем этапе происходит укрупнение молекул и формирование сложных макромолекул, важнейших компонентов так называемого «первичного бульона», в котором происходят полимеризация и связывание низкомолекулярных соединений в высокомолекулярные. Такие сложные макромолекулярные соединения, называемые пробионтами, имеют открытую пространственную структуру, что обеспечивает их рост, а также разделение на дочерние образования под действием механических сил. На этом этапе, когда возникают биологические полимеры, по-видимому, появился и механизм идентичного воспроизведения (репликация), который является основной чертой жизни.

Установлено, что способность к самовоспроизведению живых организмов основана на репликации нуклеиновых кислот, при которой происходит не только образование новых молекул, но и их разделение. Добиологический чисто химический этап переходит в этап самоорганизации, на котором возникают самовоспроизводящие сложные молекулярные комплексы. Эти макромолекулярные комплексы дают начало жизни. Граница между двумя этапами – этапом чисто химической эволюции и этапом самоорганизации биологических макромолекул – весьма условна и не фиксирована во времени.

Как полагает Опарин, с появлением самовоспроизведения органических молекул началась биологическая эволюция. При этом произошло объединение двух важных свойств: способности к самовоспроизводству полинуклеотидов и каталитической активности полипептидов. Наилучшие перспективы сохраниться в предбиологическом отборе имели эти ультрамолекулярные системы, в которых обмен веществ сочетался со способностью к самовоспроизведению.

На этом этапе эволюционные процессы привели к образованию нового типа взаимосвязи, необходимого для даль-

нейшего развития и воспроизводства. Чтобы уяснить значение этого типа связи в природе, необходимо ввести два основных понятия – *информация* и *инструкция*: инструкция «от кого» и информация «для кого». Прежде чем ответить на эти вопросы, скажем несколько слов о роли информации.

Современная теория информации рассматривает проблему переработки информации, а не ее «производства». Информация должна передаваться в строго определенной форме. Она может быть записана соответствующим кодом и при передаче по каналам сопровождается шумом, который необходимо отфильтровывать в приемном устройстве. Современная теория информации, основываясь на данных палеонтологии, геологии, физики, считает, что нарастание структурной сложности и информационной насыщенности есть важнейшая черта эволюционного прогресса.

«От кого» и «для кого»? Эти два вопроса касаются взаимодействия нуклеиновых кислот и белков как важнейших компонентов жизни. В своей книге о химической эволюции М. Келвин отмечает, что существующий в настоящее время набор компонентов белка был предопределен в самом начале эволюции исходным набором аминокислот. Этот набор аминокислот в белке обусловлен определенной последовательностью в строении нуклеиновых кислот. Нуклеиновые кислоты и белки выполняют три исключительно важные функции: самовоспроизведение, сохранение наследственной информации и передачу этой информации в процессе возникновения новых клеток. Следовательно, нуклеиновые кислоты и белки тесно взаимодействуют при воспроизводстве. А что возникло раньше: нуклеиновая кислота или белок? Новый вариант старого вопроса о курице и яйце.

Этот вопрос возникает как барьер перед стремлением объяснить возникновение жизни. Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) вместе с рибонуклеиновой кислотой (РНК) ответственна за синтез белка. Вспомним одно из центральных положений молекулярной био-

логии: ДНК → РНК → белок. Из этого положения, описывающего химический процесс белкового синтеза, некоторые исследователи делают вывод, что «пра-ДНК, вероятно, и была первым организмом на Земле». Но ДНК беспомощна без белка, и в этом причина нежизненности гипотезы о пра-ДНК. «Начало жизни в виде одинокой молекулы ДНК на берегу первичного океана,— пишет Бернал,— еще менее правдоподобно, чем в виде Адама и Евы в райских кущах».

В книге «Двойная спираль», волнующем рассказе об открытии структуры ДНК, Дж. Уотсон отмечает: «Хотя я лег спать удовлетворенный мыслью о том, что понял роль нуклеиновых кислот в белковом синтезе, на следующее утро меня охладило осознание той истины, что мой лозунг не может заменить структуры ДНК». В понимании вопроса о происхождении жизни понятия «нуклеиновая кислота» и «белок» можно заменить понятиями «информация, содержащая инструкцию» и «функция». Тогда вопрос «что первично?» становится абсурдным, так как не может осуществиться определенная функция, если нет информации. А «информация» приобретает смысл только через функцию, которую она кодирует. Поэтому-то в живой природе естественный отбор направлен в конечном счете к сохранению полезной для организма функции.

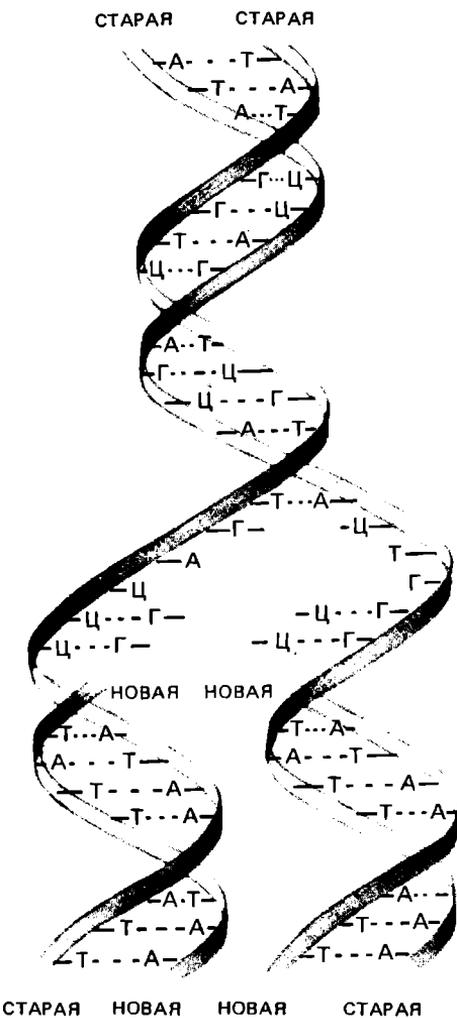
«Такую систему (информация—функция),— пишет М. Эйген,— можно сравнить с замкнутым узлом. Хотя и очевидно, что нить, из которой образован узел, где-то должна начинаться, начальная точка теряет свое значение, поскольку узел замкнут. Взаимоотношения нуклеиновых кислот и белков соответствуют сложной иерархии «замкнутого узла».

В процессе развития пробионтов зародилась способность передачи информации. Она обеспечила огромные преимущества своим носителям—сложным макромолекулярным комплексам. В дальнейшем эта способность приводит к образованию огромной информационной насыщенности живой клетки, что обеспечивается тонкими механизмами, сформировавшимися в процессе эволю-

ции. При этом запись информации происходит на атомном уровне. В исключительно малом пространстве (например, диаметр сперматозоида составляет около 0,1 мм) может быть записано огромное количество информации. Эта информация включает мельчайшие подробности, даже такие, по словам Дж. Уотсона, как «присущая нам способность развлекать окружающих».

Основные черты, приобретенные каким-либо организмом в результате долгой предшествующей эволюции, записаны в его наследственной программе. Издавна известно, что основная часть генетической информации содержится в тонких нитевидных телах—хромосомах, имеющих внутри клетки. В 1950-е годы было установлено, что важнейшая часть хромосом состоит из ДНК. По-видимому, генетическим материалом всех живых организмов является ДНК, за исключением некоторых вирусов, которые содержат исходную РНК. Не известны случаи, когда бы генетическим материалом служили иные молекулы, кроме нуклеиновых кислот.

Рентгеноструктурные исследования М. Уилкинса, и особенно вдохновенная работа Дж. Уотсона и Ф. Крика, раскрыли структуру ДНК. Она представляет собой длинную цепь повторяющихся последовательностей: сахар—фосфат—сахар—фосфат—сахар—фосфат... и т. д. К каждому сахару (называемому еще дезоксирибозой) присоединена плоская циклическая группа азотсодержащего соединения, называемого азотным основанием. Это пурины, имеющие двойное углеродно-азотное кольцо, и пиримидины, имеющие одно такое кольцо. Чаще всего встречаются пурины аденин (А) и гуанин (Г) и пиримидины тимин (Т) и урацил (У). Генетическая информация передается посредством чередования в определенной последовательности этих четырех оснований. Следовательно, всякая наследственная информация записана языком, содержащим всего четыре буквы. Не беден ли этот язык? Если посмотреть на окружающий мир, полный разнообразия и красоты, мы убедимся, что он не препят-



Вероятный механизм репликации ДНК, который имеет комплементарный характер последовательности на основе двух цепей (по Дж. Уотсону, 1975). Из одной молекулы ДНК путем удвоения образуются две новые, идентичные исходной молекуле

нительные негативные копии, форма которых относится к исходному «позитиву» как ключ к замку. Этот дополнительный «негатив» служит матрицей (шаблоном) при образовании новых позитивных копий. Так формируются две пары одинаковых цепей там, где ранее была только одна. Этот процесс копирования, по-видимому, характерен для любого организма.

В осуществлении разнообразия химических реакций в живой материи кроме нуклеиновых кислот участвует и другая большая группа молекул — белки. Белки состоят из 20 видов аминокислот, которые соединяются друг с другом в так называемую полипептидную цепь.

Способность белков образовывать сложные структуры позволяет им обеспечивать тонкое регулирование биохимических реакций. Они обладают колоссальным функциональным разнообразием и огромной способностью к распознаванию.

Рассмотрение генетического кода не относится к теме данной книги. Коснемся лишь некоторых основных положений. Можно ли с помощью четырех элементов (четырех оснований ДНК) управлять последовательностью 20 аминокислот в белке? Результаты новейших исследований показывают, что любая аминокислота записывается (кодируется) комбинацией трех оснований, так называемым триплексным кодом. Так, например, фенилаланин кодируется тройкой УУУ — последовательностью из трех урацилов. Сама ДНК, являющаяся ядром кода, участвует в синтезе белка не непосредственно, а косвенно через РНК двух видов: матричную или информационную (иРНК) и транспортную (тРНК). Молекула РНК воспроизводит генетический

стует разнообразию жизни, но обеспечивает стабильность. Чтобы код легко и быстро «прочитывался» клеткой без больших энергетических затрат, он должен быть основан на малом числе букв. В процессе эволюции образовался именно такой генетический код. Несмотря на свою «скромность», он несет огромную информацию.

Вся молекула ДНК закручена в форме двойной спирали. Две цепи спирали соединены водородными связями, образуя так называемые комплементарные (дополнительные) половины, которые можно сравнить с объединенными негативом и позитивом. Это дает возможность генам при удвоении образовывать допол-

Таблица 4. Свойства двух основных групп биологических молекул (по Ф. Крику)

Основные характеристики	Нуклеиновые кислоты	Белки
Характер основной цепи	Полинуклеотидная	Полипептидная
Составляющие элементы	Нуклеотиды	Аминокислоты
Количество различных видов элементов	4	20
Длина цепи	У РНК около 5000 нуклеотидов У ДНК от 10 000 до 100 000 и более	От 100 до 1000 аминокислот
Тип закручивания	У ДНК правильная двойная спираль.	Сложное; иногда простая спираль, завитая в сложную конфигурацию

код, записанный в ДНК, и переносит запись к находящимся в цитоплазме рибосомам. Это субмикроскопические внутриклеточные частицы, в которых происходит «сборка» белков из аминокислот. Генетический код един для всех живых организмов.

Предполагается, что первоначально код был более примитивным, однако он совершенствовался в процессе эволюции путем естественного отбора, т. е. согласно биологическим закономерностям. Поэтому универсальность кода объясняется не тем, что другой код не может существовать по химическим причинам, а тем, что всякое его изменение было бы летальным. Известно, что генетическая информация записывается на атомном уровне и любая «ошибка» даже в несколько атомов может привести к губительным последствиям. Изящная двойная спираль молекулы ДНК чрезвычайно тонка (10 атомов в поперечном направлении), но от нее зависит жизнь.

С образованием сложных ультрамолекулярных систем (нуклеиновые кислоты, белки, в том числе ферменты) и механизма идентичного воспроизведения (генетического кода) загорается заря жизни на Земле. В начале следующего этапа, который невозможно точно отграничить, образуются биологические мембраны-органеллы, ответственные за форму, структуру и активность клетки. Биологические мембраны построены из агрегатов белков и липидов, способных отграничить органическое вещество от среды и служить защитной молекуляр-

ной оболочкой. Предполагается, что образование мембран могло начаться еще в процессе формирования коацерватов. Но для перехода от коацерватов к истинной живой материи были необходимы не только мембраны, но и катализаторы химических процессов — ферменты (энзимы). Предбиологический отбор коацерватов усиливал накопление белковоподобных полимеров, ответственных за ускорение химических реакций. Результаты отбора фиксировались в строении нуклеиновых кислот. Система успешно (осмысленно) работающих последовательностей нуклеотидов в ДНК усовершенствовалась именно путем отбора. Возникновение самоорганизации зависело как от исходных космических (химических) предпосылок, так и от конкретных условий земной среды. Самоорганизация не просто имманентное свойство материи, она возникла как реакция на определенные условия. Предбиологический этап — химический и может быть описан принципами квантовой механики. Для него характерно дивергентное (разнонаправленное) развитие. При этом «отсеивалось» множество различных неудачных вариантов, до тех пор пока основные черты строения нуклеиновых кислот и белков не получили отличную «оценку» естественного отбора. Возможно, существовали и другие варианты, при реализации которых жизнь приобрела бы другие черты.

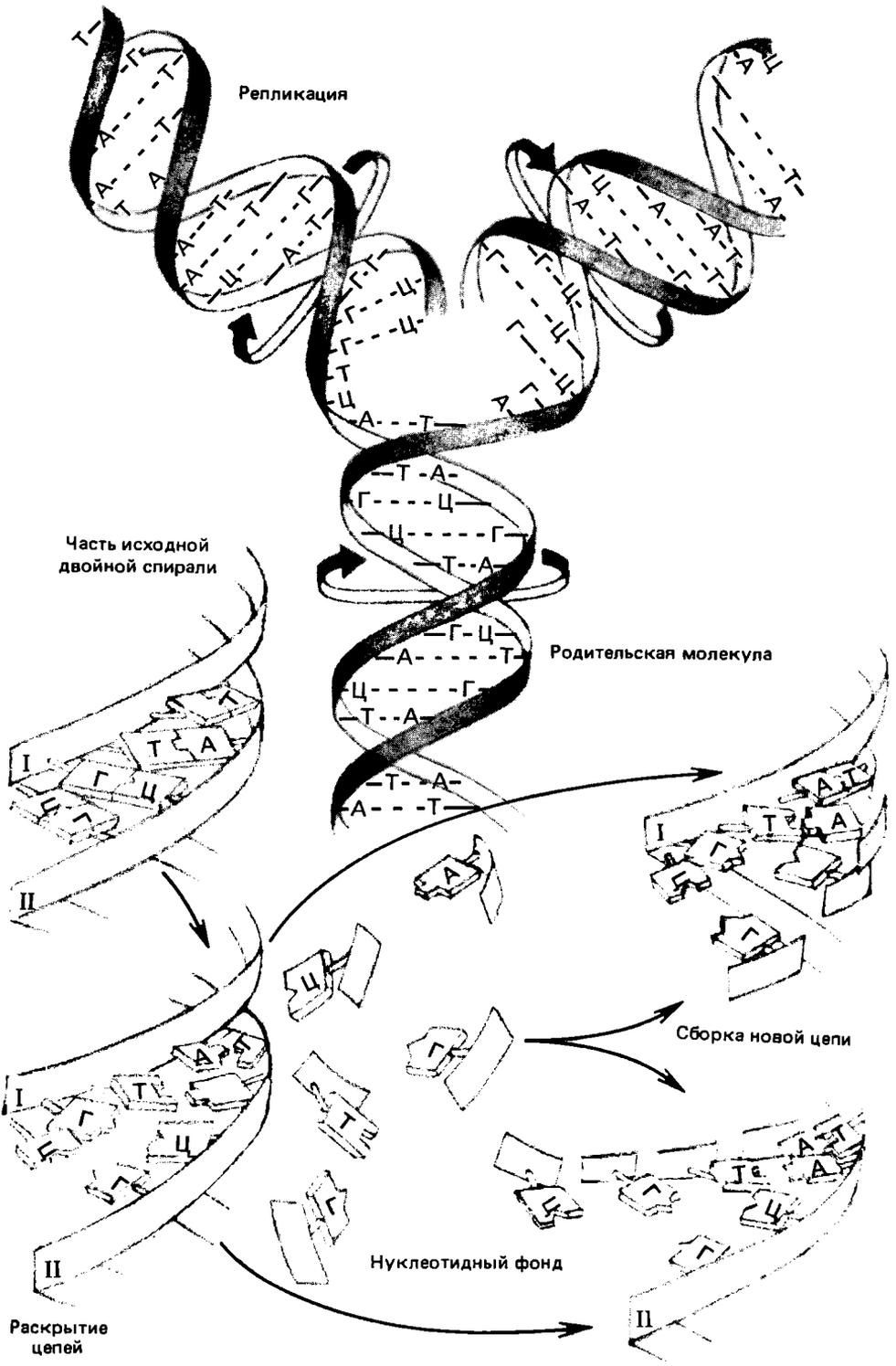
Генетический код сформировался, по видимому, на последнем этапе эволюции фазово-обособленных органических си-

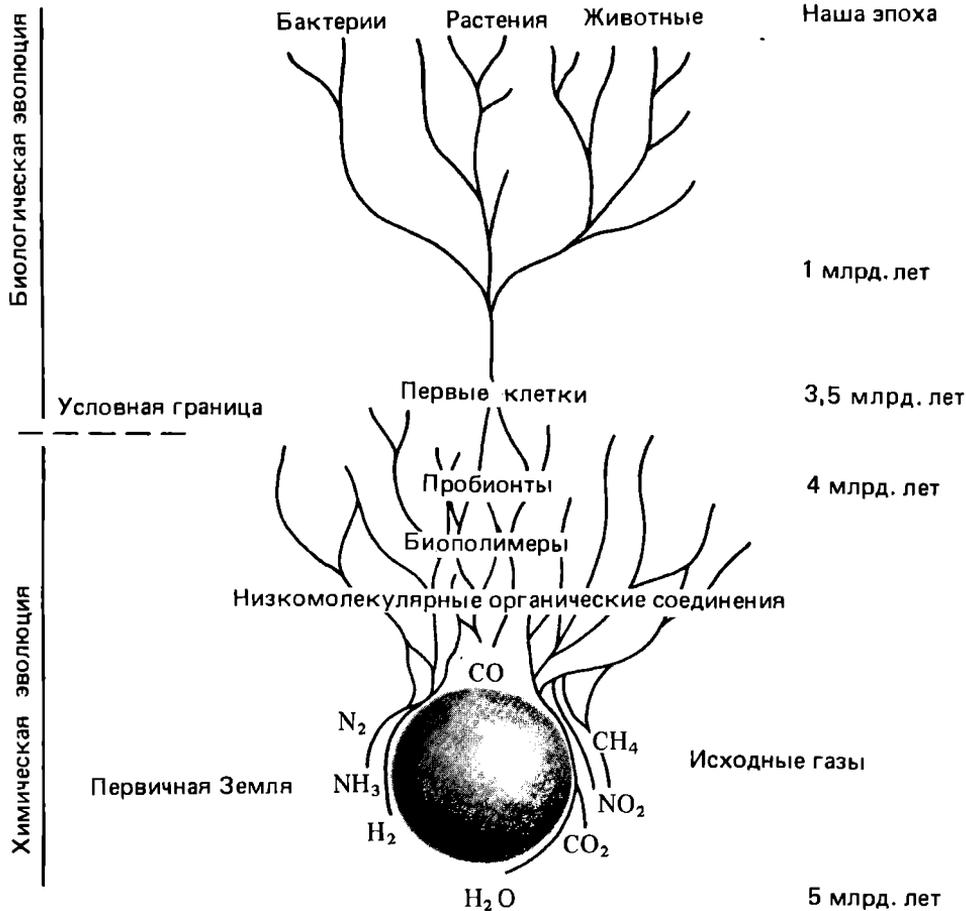
стем (пробионтов). Эти системы приобрели способность совершенствовать свою организацию путем предбиологического отбора самих систем, а не только отдельных молекул. Это был уже следующий уровень биохимической эволюции, который обеспечивал как постоянство пространственной и динамической структуры ультрамолекулярных систем, так и возрастание их информационных возможностей. Вероятно, тогда же было положено начало специализации двух видов нуклеиновых кислот – ДНК и РНК. ДНК обозначилась как главный «программист и инспектор» молекулярного самовоспроизведения. РНК приняла на себя роль «информатора» и переносчика генетической программы. Ряд ученых считают, что первые формы нуклеиновых кислот были представлены РНК-подобными полимерами, которые сочетали в себе способность как накапливать и передавать генетическую информацию, так и участвовать в синтезе белков. Разделение функций между двумя видами нуклеиновых кислот открыло новые горизонты перед эволюцией. «В процессе эволюции пробионтов, – пишет Опарин, – было испробовано и отвергнуто не меньше, а, возможно, и значительно больше вариантов организации, чем, например, ступеней между плавниками акулы и человеческой рукой».

После образования генетического кода эволюция становится темой с вариациями. Чем дальше она продвигается во времени, тем многочисленнее и сложнее вариации. Однако эволюция еще в самом начале. Минуло 1–1,2 млрд. лет со времени образования Земли. Пробионты, бесспорно, развивались в анаэробной среде. Они использовали для своего роста готовые органические соединения, синтезированные в ходе химической эволюции, т. е. были гетеротрофными. Пробионты нуждались в различных химических соединениях – нуклеотидах, аминокислотах и др. Если бы пробионты отдали себя на консумацию, ничего не производя, то органические вещества были бы быстро исчерпаны. Пробионты обладали слишком ограниченными возможностями (низкая степень генетической

информации), чтобы легко справляться с возникающими препятствиями в условиях, когда они обеспечивали свое существование путем диффузии. Невозможно представить, чтобы жизнь на этом раннем этапе существовала в форме одного вида организмов: он бы быстро исчерпал свой «первичный бульон»! Как показала последующая эволюция, пробионты избрали путь с оптимистическими перспективами. На первой ступени проявилась тенденция к приобретению большого разнообразия свойств, в первую очередь к возникновению способности синтезировать органические вещества из неорганических соединений с использованием солнечного света, т. е. к возникновению автотрофного питания. Множество вариантов было «перепробовано» перед тем, как достигнуть весьма важного результата – появления органелл, о которых мы уже упоминали. К ним относятся: митохондрии, отвечающие за метаболизм клетки; хлоропласты, осуществляющие фотосинтез; рибосомы – место, где совершается процесс синтеза белка по инструкции ДНК; хроматин и поздний его аналог хромосомы, которые отвечают за точную передачу наследственных черт. Дж.Бернал логично допускает, что до обособления клетки орга-

Репликация ДНК на уровне молекулярной цепи (вверху) и на уровне нуклеотидов (внизу) (по Гробштейну, 1968). Каждая из двух цепей (I, II) исходной двойной спирали воспроизводится (реплицируется), и создаются две новые цепи. Последовательность расположения нуклеотидных пар в новой молекуле одинакова и точно соответствует последовательности в исходной молекуле. Механизм воспроизведения на уровне нуклеотидов – типичная самосборка, а на уровне цепей имеют место раскрытие по типу застёжки-молнии и матричная репликация нуклеотидной последовательности





неллы прошли стадию самостоятельной жизни.

В свое время Холдейн высказал предположение, что бактериофаги и другие вирусы являются, по-видимому, связующим звеном между преджизнью (пробионтами) и жизнью. Но вирус не организм, он не имеет собственного обмена веществ и может размножаться только при попадании в клетку. Это, очевидно, дегенерировавшие (вторично упрощенные) формы, которые во многих отношениях похожи на некоторые органеллы. Они приспособились к внутриклеточному паразитическому образу существования.

Примитивнейшими свободно живущими организмами являются так называемые микоплазмы. Они имеют элементы, которые обнаружены в клетках,

Схема перехода от химической эволюции к биологической

но в чрезвычайно упрощенном виде. Это может указывать на примитивность, но также может быть следствием вторичной дегенерации, связанной с паразитической жизнью, как полагает Бернал.

В 1977 г. американский биохимик К. Воуз широко оповестил о результатах одного своего исследования, которые объявил открытием первой формы жизни. В горячих (65–70°C) источниках Йеллоустонского парка он обнаружил микроорганизмы, которые поглощают двуокись углерода и водорода и выделяют метан. Так как сегодня известны две основные формы жизни – растения и животные, то метанпроизводящие орга-

низмы были объявлены третьей ее формой. А в сущности, третья ли это форма жизни или первая, которая позже дала начало другим?

В настоящее время общепринято, что пробионты имели черты йеллоустонских метанпроизводящих «бактерий» и жили без кислорода, с помощью ферментации. Открытие Воуза бесспорно в отношении развития метанпроизводящих микроорганизмов. Но являются ли они представителями первых организмов или представляют собой результат вторичного приспособления и дегенерации бактерий, не известно. Многие специалисты скептически приняли сообщение К. Воуза не из-за традиционного недоверия к сенсации, а потому, что известно много современных анаэробных бактерий, которые живут за счет различных видов ферментации, фотосинтеза или химических процессов. К. Гробштейн, американский биолог и биохимик, приводит характерные примеры приспособления бактерий к горячим (до 80°C) растворам путем последовательной «колонизации» различными поколениями отдельных температурных зон, начиная от 30 и до 80°C.

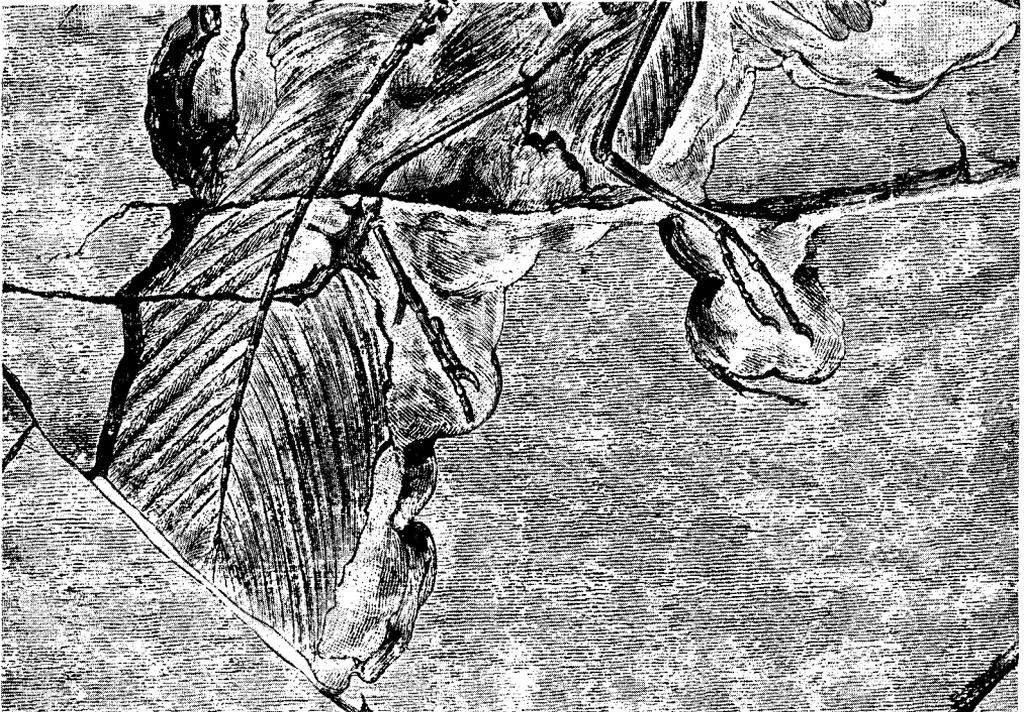
Очевидно, истинная жизнь начинается с появления клетки. Биологические мембраны помогают объединению отдельных органелл (мембранные органеллы и органеллы-частицы) в единое целое. Образуется истинная основа жизни, знаменующая собой скачок в эволюции. Очевидно, первые клетки прими-

тивны, они не имеют ядра (прокариоты). В настоящее время таковы бактерии и некоторые другие микроорганизмы. Они появились около 3,2–3,5 млрд. лет назад. Затем началось развитие клетки с ядром (эукариоты), содержащим хромосомы–органеллы, которые хранят с помощью ДНК и передают наследственные черты клетки.

Первые клетки были прообразом всех живых организмов: растений, животных, бактерий. Позже, в процессе эволюции, под воздействием дарвиновских законов естественного отбора клетки совершенствуются, вслед за прокариотами и эукариотами отделяется третья категория – специализированные клетки высших многоклеточных, растений и животных – метафитов и метазоа.

Сложные процессы химической эволюции, которая переходит в биохимическую и биологическую эволюцию, могут быть выражены в виде простой схемы: атомы → простые молекулы → сложные макромолекулы и ультрамолекулярные системы (пробионты) → одноклеточные организмы.

Первый шаг сделан. Это было самым трудным. На этапе предбиологической эволюции «испробовано» множество вариантов дальнейшего развития исходных углеродных соединений. Начало можно представить как сложное переплетение различных дорог, которые постепенно расходятся, а жизнь избирает один путь. Другие остаются дорогами никуда.



Дальше всего ведет меня случайный путь, по которому иду, не зная и не спрашивая куда. И нет возврата с этого пути.

Блага Димитрова

3. ПЕРВЫЙ ШАГ СДЕЛАН



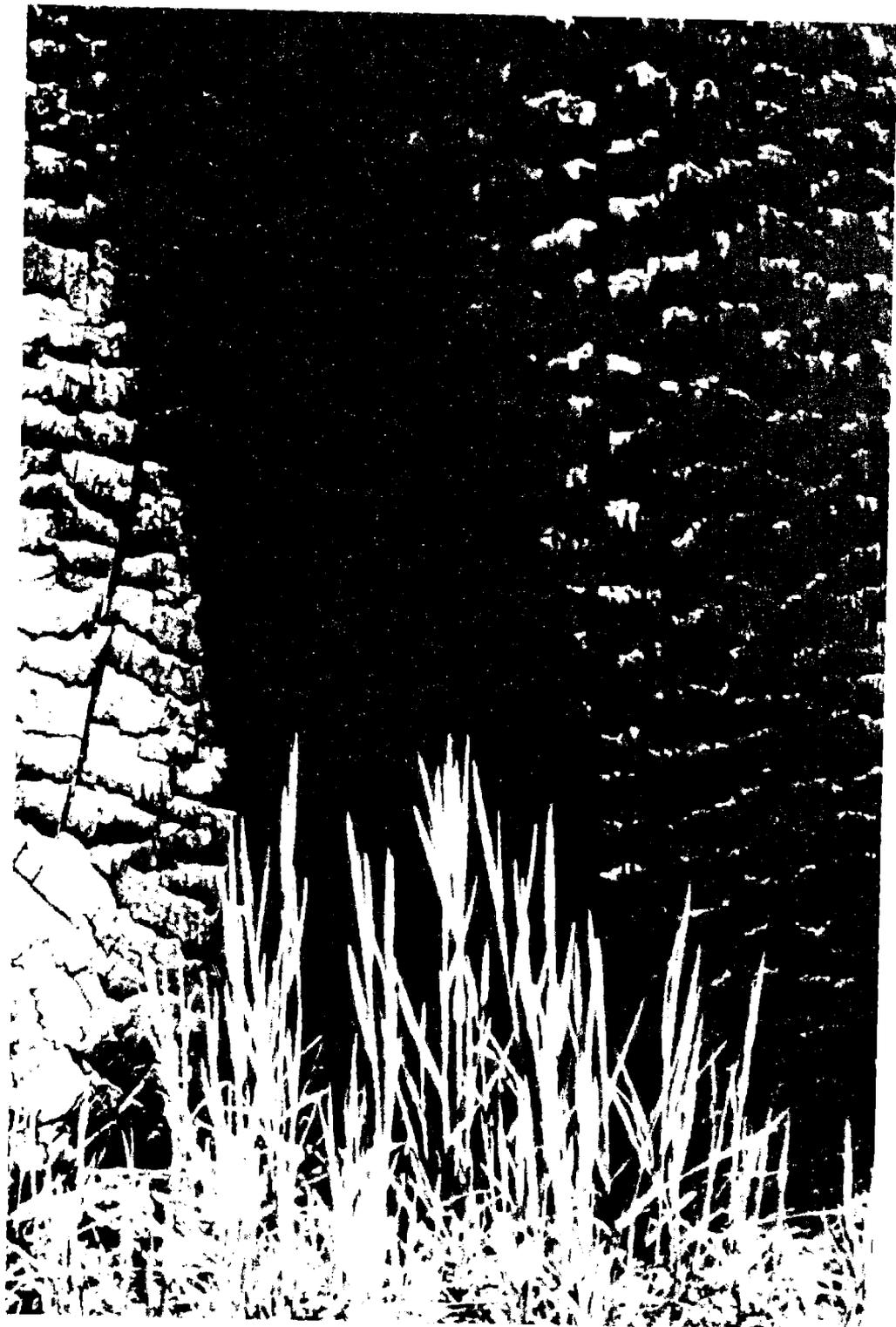
ОКАМЕНЕВШИЕ ЗАПИСИ РАННЕЙ ЭВОЛЮЦИИ

Записи в «книге жизни» можно сравнивать с письменностью. Раньше всего возникают неясные образы биоорганических молекул, потом появляются «согласные буквы» мембранных органелл, за которыми следуют «гласные» клетки. Соединение этих «знаков» (следов) создает азбуку науки о древней жизни — палеонтологии. Исследуя окаменевшие остатки древней жизни, палеонтология открывает источник волнующей картины эволюционного процесса от его начала до наших дней. Для ранних этапов истории Земли эта картина весьма неполная из-за огромной отдаленности от нашего времени.

Окаменевшие остатки, которые мы обнаруживаем в земных пластах, свидетельствуют, что первые записи в истории жизни сделаны обособленными (дискретными) формами, которые проявляют основные черты современных микроорганизмов (например, бактерий). Известно, что динамический характер жизненных проявлений современных ор-

ганизмов зависит от степени их обособленности (индивидуализации). Вот почему появление биологических мембран, открывающих возможность разделения относительно аморфного органического материала (первичного «бульона» или субвитальных зон), приводит к решительнейшему шагу: появлению фазово-обособленных систем (групп нуклеиновых кислот и белков), которые дали начало первым органеллам и клеткам.

Палеонтологические данные древнейших осадочных пластов свидетельствуют, что доорганизменный этап в эволюции продолжался 1,5–1,6 млрд. лет после образования Земли как планеты. Этот этап был спектаклем без зрителей, полным превратностей. С точки зрения жизни это было время глубокой тишины до того, как загремят первые аккорды волнующей кантаты жизни. Здесь уместно вспомнить о методах изотопного датирования. Это поможет отодвинуть занавес и взглянуть на одну невообразимо

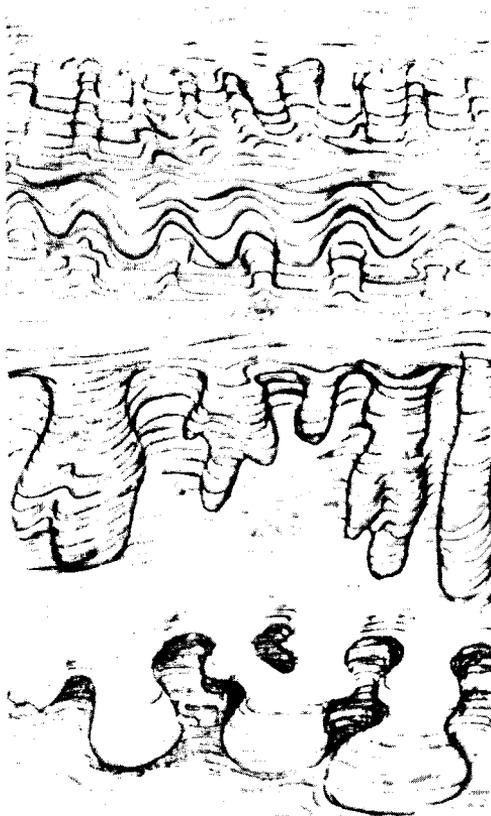


отдаленную сцену, на которой блеснули истоки жизни.

Криптозойский эон (табл. 1) очень беден остатками организмов, но открытия последних лет свидетельствуют о постепенном нарастании разнообразия. Сведения о начальных 1–1,5 млрд. лет истории Земли чрезвычайно скудны. Причина этого не только в том, что породы образовались на самом раннем этапе истории планеты, когда развивались лишь зародыши жизни – пробионты. Летопись не ясна и из-за глубокого метаморфизма пород, который уничтожил следы первых живых существ. Поэтому трудно определить и достаточно обоснованно охарактеризовать переход от химической эволюции к биологической. Вероятнее всего, этот переход совершился около 3,5 млрд. лет назад. Об этом свидетельствуют находки окаменевших микроорганизмов в ранних криптозойских (архейских) породах возрастом 3,5–3,8 млрд. лет. Находки первых молекулярных окаменелостей могут помочь объяснению этого знаменательного перехода и особенностей жизни в его начале. Как отмечает Рутен, среди древнейших окаменелостей встречаются молекулы щелочного изопренового ряда (фитан и пристан), которые, вероятно, представляют фрагменты молекулы хлорофилла. Это позволяет предположить, что процесс фотосинтеза начался еще на самых ранних стадиях развития жизни.

Какие палеонтологические данные имеются о периоде ранней эволюции?

Древнейшие, отчасти проблематичные окаменелости были обнаружены несколько лет назад в Гренландии в кварцитах возрастом 3,8 млрд. лет. При микроскопическом исследовании препаратов из этих кварцитов западногерманские ученые обнаружили мелкие круглые или овально-удлиненные тельца, содержащие углеродные соединения. Тельца имели фрагменты капсулы, вероятно остатки внешней оболочки, характерной для микроорганизмов. Но неужели возможно, чтобы древние биологические макромолекулы сохранились в породе миллиарды лет? Это возможно по следующим причинам: некогда, как это про-



Биогенные образования (строматолиты) в докембрийской серии Доломит, Южная Африка (по Рутен, 1973)

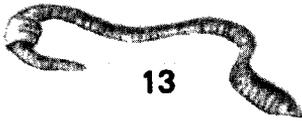
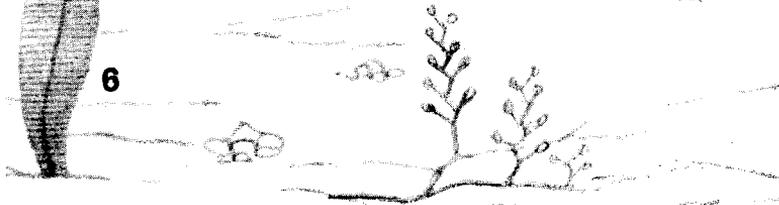
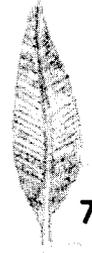
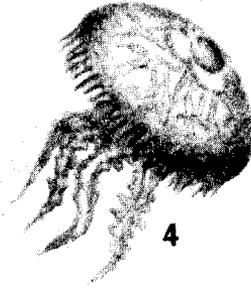
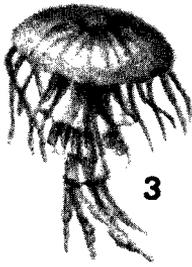
исходит и сегодня, многие одноклеточные организмы становились зародышем образования мелких шариков (конкреций) кремнистого вещества. Позже эти кремнистые шарики увеличиваются, кристаллизуются и превращаются в прочные герметичные «ковчеги». Поэтому все древнейшие окаменевшие микроорганизмы обнаруживаются в кремнистых породах. Среди сотен одноклеточных организмов, погребенных в кварцитах, обнаруживаются такие, которые находятся в стадии деления. В те далекие времена, как и сегодня, разделению на материнскую и дочернюю клетки предшествовало образование двойной перегородки.

Находки в гренландских кварцитах являются настолько древними проблема-



гичными микроорганизмами, что позволяют возродить споры вокруг гипотезы космического посева. Как отмечалось ранее, проблема возникновения жизни не становится янее, если перенести появление первых организмов в далекий космос. Все научные данные подтверждают правоту Дж. Бернала, что «...нам необходимо рассматривать возникновение жизни в пределах Солнечной системы в целом, а не исключительно на Земле. Однако именно на Земле мы можем изучить

Реконструкция докембрийской фауны из Эдиакары, Австралия (по Глесснеру и Уэйду из работы Рутен, 1973). Показаны следующие животные: кишечнополостные (1–10), кольчатые черви (11–14), членистоногие (15, 16), другие организмы (17, 18)



эволюцию жизни, особенно ее поздние стадии». В ряде замечательных работ, и особенно в классической работе М. Келвина о химической эволюции, показано постепенное усложнение углеродных соединений на первичной Земле и появление первых молекулярных ископаемых.

Кроме гренландских находок, являющихся проблематичными, древнейшие достоверные окаменевшие микроорганизмы обнаружены в Южной Африке, в

так называемой системе Свазиленд возрастом 3,0–3,5 млрд. лет.

Система Свазиленд имеет мощность несколько тысяч метров и подразделяется на две серии: нижнюю – Онвервахт и верхнюю – Фиг-Три.

Серия Онвервахт преимущественно вулканогенная и вулканогенно-осадочная, в ее породах обнаружены как молекулярные ископаемые, так и истинные окаменевшие микроорганизмы. Особый интерес представляет обнаружение тако-

го характерного полимера, как споропо- ленин, который входит в состав древних и современных микроорганизмов, а так- же мелких телец, вероятно, бактериаль- ного происхождения. Возраст пород — около 3,5 млрд. лет. Изотопные соот- ношения $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ позволяют допустить, что в период 3,8–3,5 млрд. лет назад уже появились первые фотосинтезирующие аутотрофные организмы, которые вме- сте с древними гетеротрофными про- бионтами жили в атмосфере, почти пол- ностью лишенной свободного кислоро- да.

Среди осадочных пород вышележа- щей серии Фиг-Три (черные глинистые сланцы и кремнистые породы) обнару- жены первые наиболее четкие остатки микрофоссилий с двухслойной клеточной оболочкой, подобной клеточной оболоч- ке многих современных бактерий. Ните- видные представители этих древних ми- кроорганизмов были названы *Eobacte- rium isolatum* (длиной 0,7 мк), а сферои- дальные, названные *Archaeosphaeroides barbertonensis* (диаметром 17–20 мк), от- несены к сине-зеленым водорослям (циа- неям). По данным рубидиево-стронцие- вого метода возраст серии Фиг-Три бо- лее 3,1 млрд. лет.

В Зимбабве (область Булавайо) обна- ружены древнейшие биогенные оса- дочные породы — строматолиты, пред- ставленные слоистыми известняками се- рии Доломит. Строматолиты предста- вляют собой продукт жизнедеятельности сине-зеленых водорослей и бактерий. Возраст этих биогенных образований бо- лее 2,7 млрд. лет, вероятно 2,9–3,0 млрд. лет.

В сланцах железорудных формаций Соуден (Северная Америка) и Витватерс- ранд (Южная Африка) обнаружены до- вольно разнообразные окаменелости, представленные одноклеточными орга- низмами со сложной внутренней структу- рой. Возраст этих формаций — около 2,7 млрд. лет. Породы знаменитого зо- лото-уранового бассейна Витватерсранд переполнены бактериями и однокле- точными водорослями, которые были способны образовывать колонии клеток. Вероятно, характерная «углеродная суб-



Следы кольчатых червей из Эдиакары, Австралия

станция» пород данного бассейна обра- зовалась за счет этих древних организ- мов вследствие ридиогенной полимеризации первично биогенных углеводов.

В это же время, в начале протерозоя, усиливается жизнедеятельность так на- зываемых ферробактерий, в результате которой образуются крупные железорудные месторождения в СССР (Кривой Рог), Канаде, Австралии, Африке и др.

В черных кремнистых породах фор- мации Ганфлинт (Онтарио, Канада) обнаружены хорошо сохранившиеся остат- ки представителей различных групп рас-

тений: от округлых одиночных одноклеточных форм до сложных расчлененных образований. Они представляют собой настоящие скопления водорослей, которые позже были пропитаны кремнистым веществом. Морфологическое разнообразие достаточно велико: среди них выделено 8 родов и 12 видов древних микроорганизмов. Широко представлены цианеи, бактерии и, по-видимому, первые губки (мицеталии). Возраст формации Ганфлинт – около 2 млрд. лет.

Видный советский ученый академик Б. С. Соколов подчеркивает, что уже в раннем архее происходило параллельное развитие сине-зеленых водорослей и бактерий. Эти организмы (вероятно, не связанные общим происхождением от одного ствола) не имели обособленного ядра (прокариоты), но обладали развитой системой обмена веществ, способностью к размножению и примитивным аппаратом фотосинтеза. Появление последнего открыло один из путей, вероятно, специфически земной, образования свободного кислорода. Однако энергетика этих примитивных организмов была основана на медленно протекавших процессах ферментации, так что освобожденный кислород быстро поглощался при неорганических окислительных реакциях. 2,8–3,0 млрд. лет назад появляются и первые колониальные водоросли. Конечно, уникально сохранившиеся остатки окаменевших водорослей встречаются не часто, однако известны многие находки в Африке, Канаде, Австралии и Советском Союзе.

Если иметь в виду, что семь восьмых геологической истории Земли занимает криптозойский (докембрийский) эон, то понятно быстрое развитие в последние годы палеонтологии того далекого времени, когда сама жизнь еще оставалась большой проблемой.

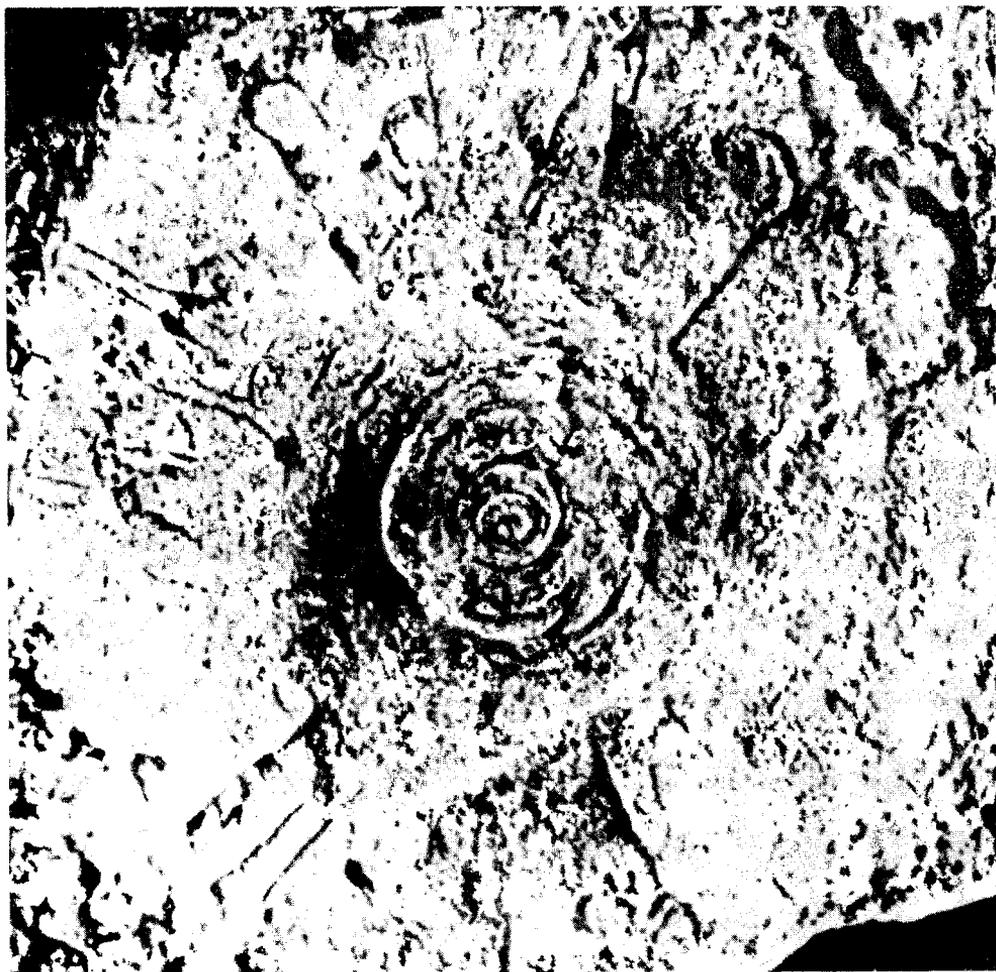
В XVIII в. во Франции часто рассказывали о чуде Дени, который после казни прошел 9 км, неся голову в руках. Маркиза Дю Дефан в ответ на учтивый упрек Даламбера, что она позволяет в своем знаменитом салоне рассказывать небылицы, написала известному матема-

тику и философу: «Расстояние не имеет значения. Важен первый шаг».

Эволюция удивляет нас своими изящными и волнующими «решениями», потому что это реальность, а не миф. И при органической эволюции также самым важным был первый шаг. Его фундаментальное значение в том, что появились первые примитивные организмы, способные к дальнейшей эволюции. Их жизненная активность обеспечивалась автономными биоэнергетическими механизмами. Сине-зеленые водоросли и бактерии быстро распространялись и к концу архея (2,6–2,7 млрд. лет назад) стали хозяевами планеты.

Многие авторы отмечают, что эти древние водоросли весьма похожи на современные. Например, в породах верхнего докембрия (возрастом около 1 млрд. лет) встречаются водоросли, которые трудно отличить от современных. По этой причине некоторые делают вывод о консервативном характере древних водорослей, которые не развивались во времени. Это не соответствует истине. В эволюции сине-зеленых водорослей изменялись размеры клеток, длина и толщина нитей, изменялась морфология. Но эта эволюция осуществлялась в течение очень длительного времени – около 3,5 млрд. лет. К концу протерозоя, т. е. 1 млрд. лет назад, сине-зеленые водоросли достигают своего расцвета. Потом начинается их закат, что, вероятно, было связано с появлением эукариотов (одноклеточных с ядром), а также с возникновением в мире организмов полового размножения.

Этапы эволюции сине-зеленых водорослей все еще изучаются, но уже определенно установлена их связь с образованием таких биогенных построек, как строматолиты. Благодаря исследованиям советских ученых (Р. Бутина, В. Соколова, И. Крылова и др.) установлено, что в докембрийских комплексах на различных уровнях встречаются различные по структуре и морфологии строматолиты, которые не повторяются в разрезе. Следовательно, по характерному облику строматолитов можно определять возраст содержащих их комплексов



пород. Эти выводы, сделанные при исследованиях в Карелии, на Урале и в Сибири, были подтверждены исследованиями в Канаде, Австралии и Африке, где распространены древние комплексы.

В начале позднего протерозоя (рифей) возрастает породообразующая роль водорослей. Повсеместно карбонатные породы этой системы содержат строматолиты. Установлено, что микроорганизмы, которые образуют строматолиты, представлены прокариотами: однообразными цианофитами, одноклеточными сферическими формами и целым рядом бактерий.

Рифей с точки зрения эволюции имеет особое значение. На рубеже раннего и среднего рифей (около 1,35 млрд. лет на-

Отпечаток медузы из Эдиакары, Австралия

зад) появляются первые микроорганизмы, имеющие ядро,—эукариоты. В доломитах Биг-Спринг (Калифорния) обнаружены одноклеточные эукариотные зеленые водоросли возрастом 1,3 млрд. лет.

В серии Белт (США) найдены остатки сине-зеленых водорослей и губок возрастом 1,1 млрд. лет.

С точки зрения биохимии особенно интересны находки биогенных молекул, производных хлорофилла, в глинистых сланцах формации Нонсач (США), возраст которых около 1 млрд. лет. Это убедительное доказательство активного фо-

тосинтеза, существовавшего 1 млрд. лет назад.

Исключительный интерес представляет обнаружение Дж. Шопфом (1968) позднерифейских микроорганизмов в формации Биттер-Спрингс (Центральная Австралия). Там присутствуют сине-зеленые водоросли, сфероидальные примитивные зеленые водоросли, вероятно, красные водоросли, бактерии и губки. Возраст 0,8–0,9 млрд. лет. Эта исключительно богатая ископаемая микрофлора позволила достаточно обоснованно восстановить характер клеточного деления древних организмов. Было установлено наличие у них не только простого клеточного деления, но также митоза и даже мейоза, характерных для половых клеток. Дж. Шопф и другие справедливо отмечают, что возникновение процесса полового размножения у эукариот — значительный скачок в эволюции.

Б. С. Соколов на материалах Сибирской и Русской платформ приводит

новые яркие примеры коренных цитогенетических изменений, происходивших у эукариотных организмов в позднем рифее (1,0–0,7 млрд. лет назад). Отмечается четкая последовательность в появлении определенного типа клеточного размножения.

Большой интерес представляют находки богатых комплексов одноклеточных и многоклеточных животных, сделанные в Эдиакаре (Австралия) и в отложениях того же возраста на Русской и Сибирской платформах. На них мы остановимся позже.

Краткий обзор находок ископаемых остатков древних микроорганизмов позволяет высказать надежду, что расширение исследований постепенно будет дополнять картину жизни на ранних этапах ее эволюции. Пока же хронология того далекого времени очерчена лишь схематично. Каменная летопись уже началась, но следы письменности все еще очень редки.



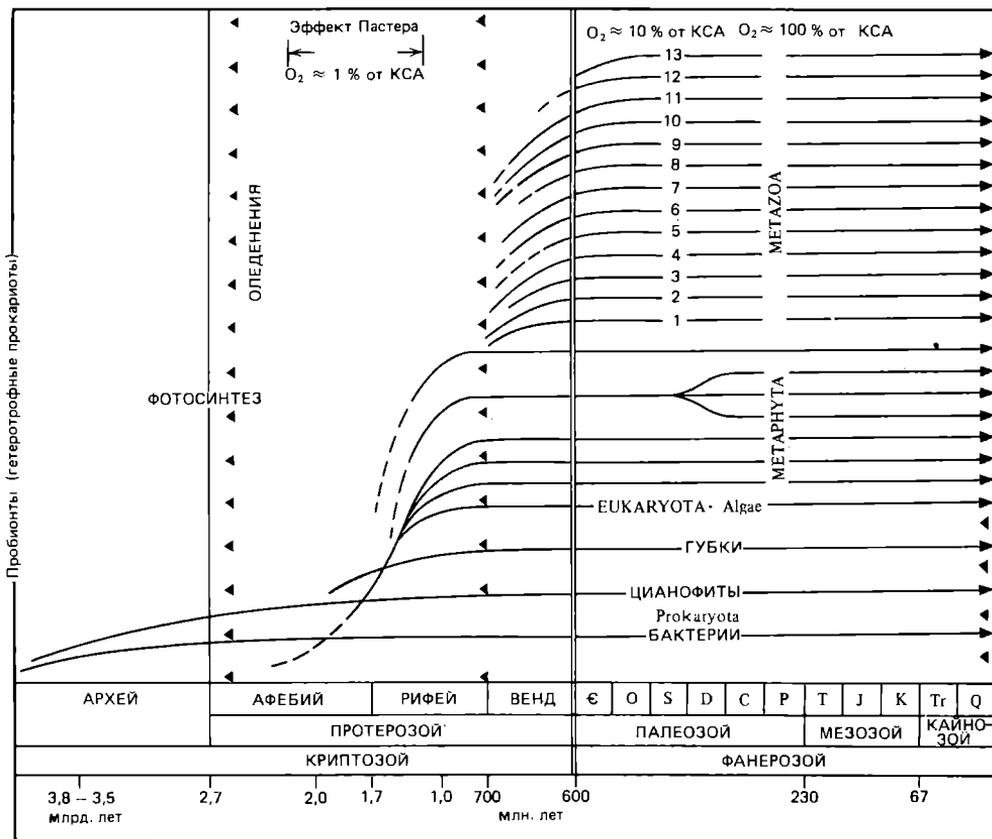
ОТ ЕДИНСТВА К МНОГООБРАЗИЮ

Бесспорно, жизнь на Земле имеет единую биохимическую основу. Это обусловило единство генетического кода всех живых организмов, иными словами, исходный субстрат «азбуки жизни» един для всего живого.

Нынешнее исключительное разнообразие форм и функций жизни было создано в процессе эволюции путем естественного отбора. На раннем этапе вся совокупность первичных пробионтов была сравнительно гомогенна. Вероятно, это и послужило основой образования единого механизма передачи наследственных признаков для всех живых организмов. Чтобы существовать и дать начало жизни, первичная пробионтная масса должна была реагировать на воздействие возрастающей неоднородности и изменчивости внешней среды. Эволюция нашла правильный выход: создала

различные формы живого, каждая из которых приспособлялась к определенным условиям. Возникновение и развитие разнообразия становятся основной стратегией жизни в условиях непрерывно изменяющейся природной среды.

Бактерии и сине-зеленые водоросли не только заложили начало жизни, но сделали первые шаги на пути к ее разнообразию. Корни этих двух начальных ветвей жизни, очевидно, лежат в исходной пробионтной массе, т. е. имеют общую биохимическую основу. Их дальнейшая эволюция идет параллельно, но относительно независимо. Важнейшим результатом этого раннего этапа эволюции было образование клеточного ядра, усложнение внутриклеточных процессов и возникновение первых простых объединенных (колониальных) систем. Отсюда берут начало



первые многоклеточные организмы – растения (метафиты). Позже возникают одноклеточные (протозоа) и многоклеточные животные (метазоа). Как и когда произошло разделение живого мира на растения и животных? Един ли их корень?

При чтении интересной книги часто случается, что страницы исчезают именно там, где действие достигает кульминации, а развязка еще не наступила. Подобное происходит и в «книге жизни». В ее начале особенно недостает важнейших и волнующих страниц, которые содержат ответ на оба поставленных выше вопроса.

Еще при возникновении дарвинизма разгорелись споры относительно происхождения разнообразия жизни. Эти споры не затихают и сегодня.

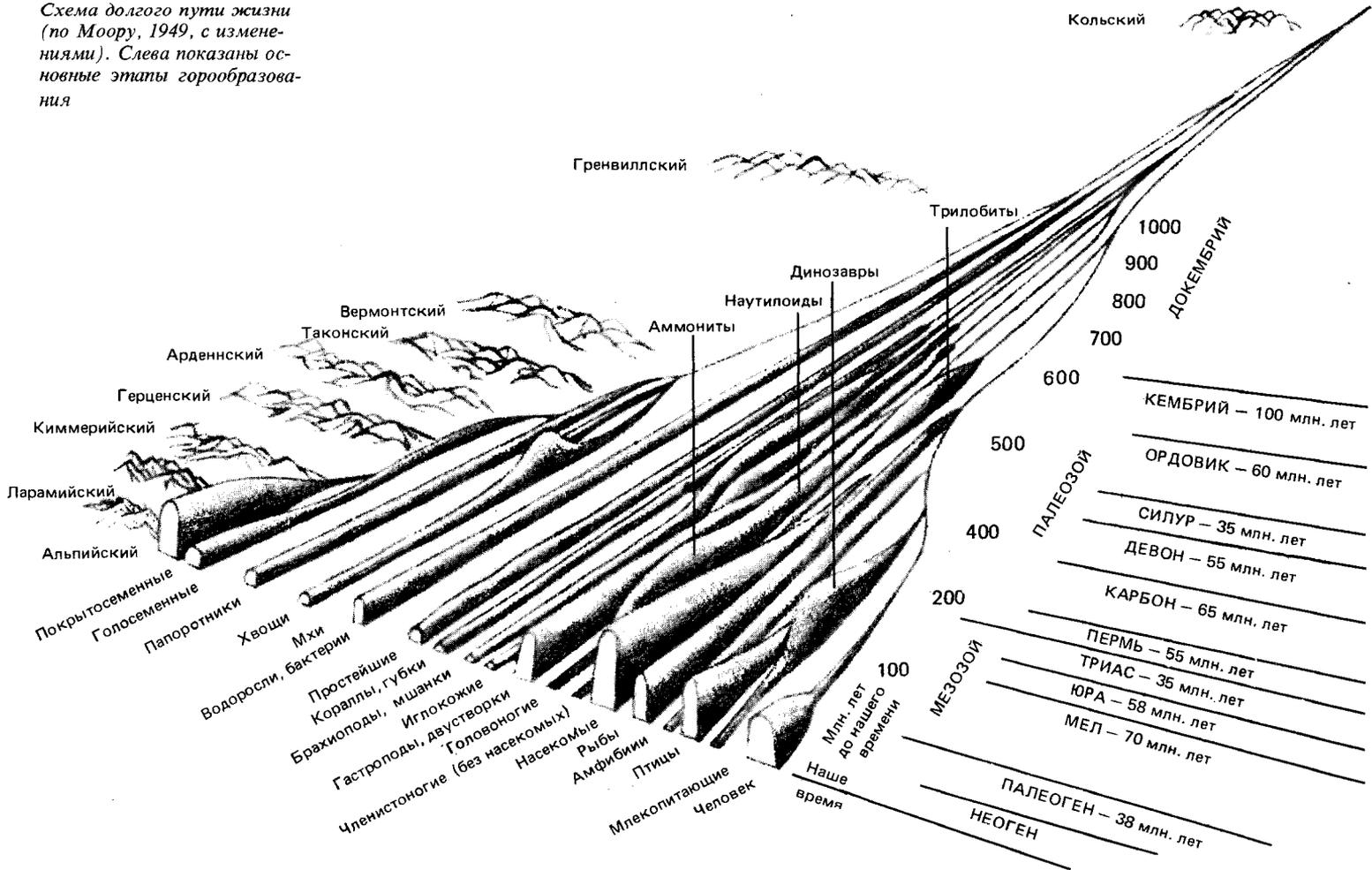
Ортодоксальные приверженцы дарвинизма считают, что любой вид имеет единое исходное начало (монофилию),

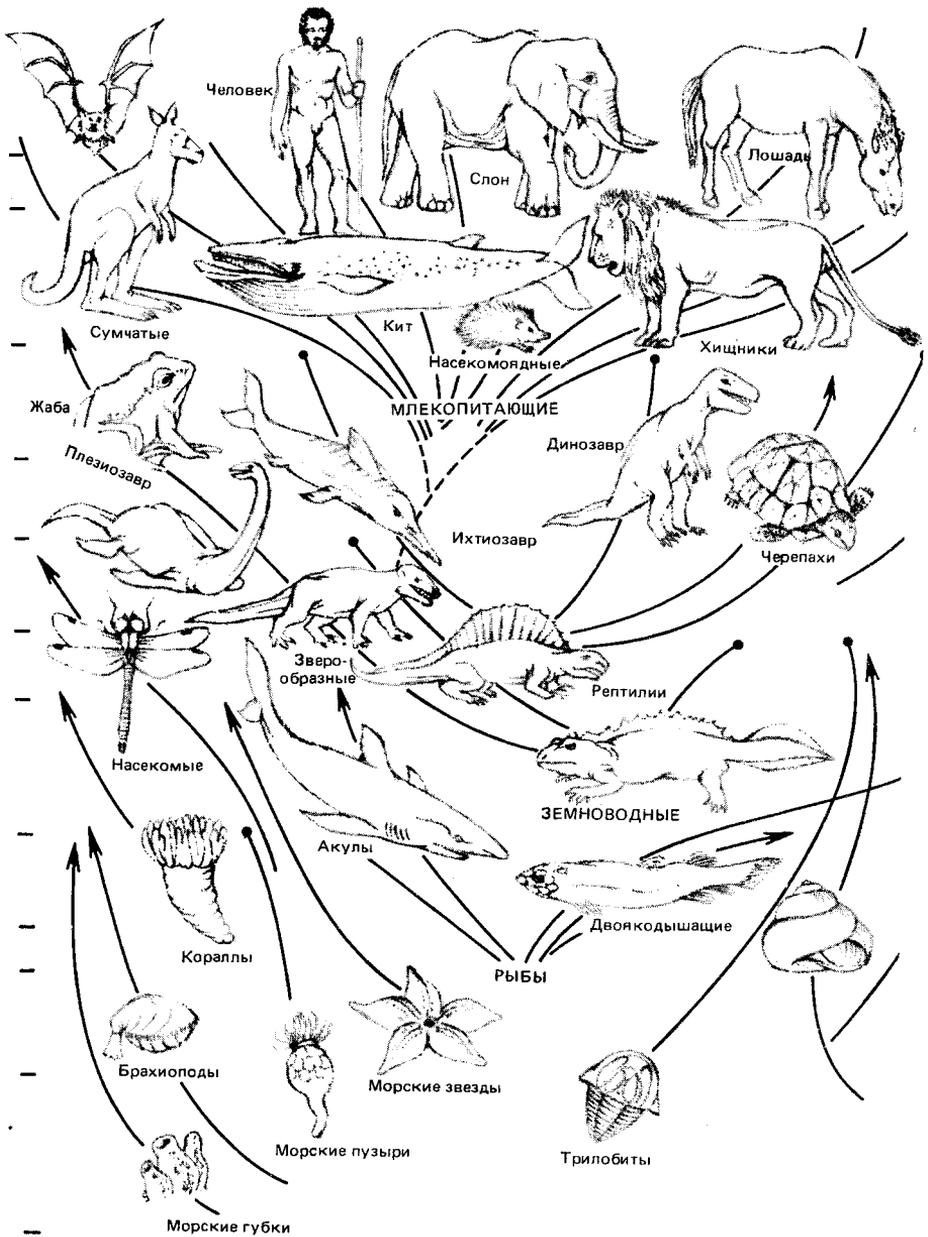
Схема всеобщего разветвления (по Б. С. Соколову, 1976, с изменениями). 1 – Spongia; 2 – Coelenterata; 3 – Ctenophora; 4 – Vermes (Annelida); 5 – Arthropoda; 6 – Mollusca; 7 – Bryozoa; 8 – Brachiopoda; 9 – Echinodermata; 10 – Pogonophora; 11 – Petalonamae; 12 – Hemichorolata; 13 – Vertebrata. КСА – концентрация кислорода в современной атмосфере

представленное одной популяцией, которая может занимать некоторую обширную территорию или акваторию. По их мнению, монофилия – общий закон эволюции. Это, однако, не означает, что новый вид происходит от одного или пары индивидуумов, а не от целой популяции индивидуумов.

Согласно другим ученым, любая систематическая единица (вид, род и т. д.) происходит не от одного, а от множества

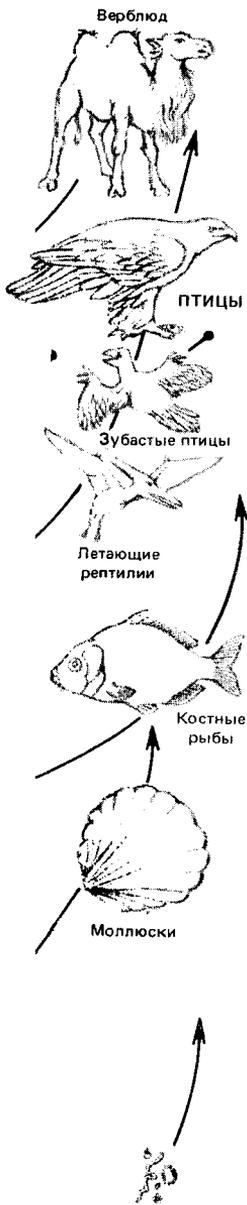
Схема долгого пути жизни (по Моору, 1949, с изменениями). Слева показаны основные этапы горообразования





различных корней (полифилия). Хотя эта гипотеза многими принимается как ересь, она не отвергается и даже приобретает новых приверженцев. Имеется целый ряд новых фактов, позволяющих авторитетным специалистам считать, что эволюция на уровне видов (микрo-эволюция) имеет монофилитический ха-

Развитие мира животных в фанерозое (по Келвину, 1971). Линии, которые завершаются точкой, показывают эволюцию групп, вымерших в геологическом прошлом.



ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ	КАЙНОЗОЙ
ТРЕТИЧНЫЙ	
МЕЛ	МЕЗОЗОЙ
ЮРА	
ТРИАС	
ПЕРМЬ	ПАЛЕЗОЙ
КАРБОН	
ДЕВОН	
СИПУР	
ОРДОВИК	
КЕМБРИЙ	

актер. На более высоких таксономических уровнях (род, семейство, отряд, класс) эволюция (макроэволюция) может быть полифилитической. Американский палеонтолог и специалист по теории эволюции Дж. Симпсон считает, что класс млекопитающих произошел от класса рептилий (пресмыкающихся) по несколь-

ким родословным линиям, т. е. от различных таксонов рептилий. Эту идею поддерживает другой признанный специалист по эволюции Э. Майр. Советский палеоботаник В. Красилов высказал мысль, что покрытосеменные растения произошли от нескольких групп голосеменных, при этом между различными исходными родословными линиями осуществлялся обмен генетической информацией с помощью вирусов. Сегодня становится известно все больше фактов, свидетельствующих о том, что генетическая информация передается главным образом, но не исключительно, от родителей к детям; она может рассеиваться в пространстве и вирусами. В связи с этими фактами появилось новое понятие — «вирусная трансдукция».

Факты, которыми сегодня располагает наука, не могут служить доказательством всеобщности принципа монофилии и тем более не позволяют отбросить противоположный тезис о полифилии. Монофилию не следует понимать буквально как происхождение от одной прародительской пары. С этой точки зрения монофилитична любая группа, происходящая от другой группы того же ранга. Например, класс млекопитающих следовало бы считать монофилитичным, потому что он происходит от класса «рептилий». При «компоновке» различных таксономических категорий, особенно видов, в один таксон могут включаться и полифилитические элементы путем «вирусного вторжения», симбиогенеза и т. п. Вероятно, в этой головоломке и коренится загадка происхождения разнообразия жизни.

Логично предполагать, что уже у первых прокариотных клеток были исходно заложены предпосылки разделения живого мира на четыре царства: бактерий, губок, растений и животных.

Одной из основных черт эволюционного процесса является разделение (дивергенция) родословных линий. Дивергенция любой группы приводит к разнообразию ее состава и специализации ее представителей относительно определенных условий среды. Другой особенностью эволюции является парал-

тельное развитие родственных организмов, которые могут независимо приобретать сходные признаки. Это объясняется как общностью происхождения, так и приспособлением к сходным условиям существования. Сходные признаки могут возникать и у неродственных организмов в результате приспособления к одинаковым условиям жизни (конвергенции). Например, сходная форма тела акулы (рыбы), ихтиозавра (рептилии) и дельфина (млекопитающего) является результатом конвергенции.

Мы еще не можем восстановить полную картину ранней эволюции, мы только намечаем некоторые ее исходные положения. Однако ясно, что многие тайны скрыты в глубине клетки, которую можно считать «памятью» первых шагов эволюции. Вместе с осознанием этого в науке все более крепнет убеждение в необходимости расширять и углублять исследования по палеобиологии первых ископаемых микроорганизмов. Это убеждение формируется после «мучительного периода размышлений, эмоций, споров, заблуждений, даже инфарктов...», как говорит Б. С. Соколов.

Возможно, читатель спросит: «Что же хотел доказать автор на этих страницах? Едино ли происхождение растений и животных?» Я ничего не хочу доказывать без фактов. Происхождение многоклеточных растений и животных все еще остается нерешенной проблемой, одной из наиболее трудных проблем ранней эволюции. Ее решение опирается не только на экспериментальные исследования (с живыми клетками и окаменевшими микроорганизмами), но, вероятно, и на теоретическое переосмысление эволюционных законов. Известный советский ученый К. Завадский пишет: «Можно предположить, что взаимодействие факторов эволюции 3 млрд. лет назад было совсем другим, чем сегодня; и у бактерии сегодня оно иное, чем у обезьян, — отлич-

но в сравнении с животными. Своеобразие в организации определяет и своеобразие в развитии». Это наводит на мысль об эволюции самих законов эволюции. А разве это не противоречит физическим представлениям о жизни? По видимому, нет, поскольку физические законы часто проявляются у живых организмов в специфической форме. Переход от единичной макромолекулы к живой клетке был менее драматичен, чем переход от единичной клетки к многоклеточному организму, не говоря уже о переходе к сознательному человеческому существу. Эволюция в течение отдельных этапов и на различных биологических уровнях (клетка, орган, организм, популяция, биоценоз, биосфера) протекала как под влиянием общих законов развития материи, так и под влиянием факторов и законов, специфичных для живой материи и зависящих от ее сложности.

Мудрый Честертон устами героя своего рассказа профессора Дж. Опеншоу говорит: «Меня часто спрашивают, что я пытаюсь доказать... Ученый ничего не пытается доказать. Он ищет».

Независимо от того, какую гипотезу о происхождении многоклеточных мы примем, имеют ли они единый корень или возникли одновременно и независимо, некоторые факты бесспорны. В-первых, макроскопические органические формы появились около 1 млрд. лет назад, в конце рифея. В-вторых, прикрепленные многоклеточные растения (метафиты) появились в конце рифея. В-третьих, первые многоклеточные животные (метазоа) появились в самом конце рифея (приблизительно 800 млн. лет назад). Первые одноклеточные животные возникли, вероятно, около 1,35 млрд. лет назад, но бесспорные их остатки имеют возраст лишь 600 млн. лет.

С нарастанием темпа нарастает и разнообразие живого мира.



НУЖНА ЛИ ФОРМА ОРГАНИЗМАМ?

Бескрайнее разнообразие форм и функций жизни связано со всеобщими законами самоорганизации материи. Чтобы возникнуть и развиваться, жизнь должна была принять определенную форму. Согласно У. Эшби, «любая динамическая система, которая подчиняется неизменным законам, создает «организмы», приспособленные к «окружающей среде». В этом смысле оптимальный ход эволюции становится принципиально неизбежным, но выбор конкретных путей, форм и функций не предопределен, а зависит от взаимодействия между организмом и средой». Это взаимодействие обуславливает форму и характер «конструкции» организма. Не случайно человек, хотя и считает себя высшим существом, не сотворил новых форм, которые раньше не были бы опробованы природой.

Если отважитесь вы подняться
со мной до вершины,
Руку я вам протяну, и взор ваш
окинет свободно
Шири и дали природы.
Она расточает, богиня,
Щедро жизни дары. Однако
вседневной заботой
Не тяготится, как смертные женщины,
о пропитанье
Чад своих. Это ей не пристало.
Она утвердила
Двойственный вечный закон:
каждой жизни
предел положила;
В меру потребности дав,
дары отпустила без
меры
Вдосталь всем и доступно...
Каждый член его тела по вечному
создан закону,
Даже редчайшая форма втайне
повторит прообраз...
Образ жизни зверя влияет
на склад его тела,
Но и телесный склад на образ жизни,
бесспорно,

Должен воздействовать. Так он упрочился,
стройный порядок,
Склонный меж тем к переменам
в изменчивых
внешних условиях.
Чтимых Природой пределов и бог никакой
не раздвинет:
Ограниченья сними, и закроется
путь к совершенству!¹

Эти стихи написаны гениальным Гёте. Это не просто поэтическая фантазия, а изящное словесное выражение великой закономерности природы, предугаданной яркой диалектической мыслью гения и прочувствованной естествоиспытателем. Будучи сам живой стихией природы, преображенной в поэзию, Гёте так завершает стихотворения о метаморфозах животных:

... Но стань на месте,
Взоры, проверь, сравни
Добрую весть, что это не сон
Назад обрати ты
--и примешь изустно от Музы
-- все видишь ты
въяве.

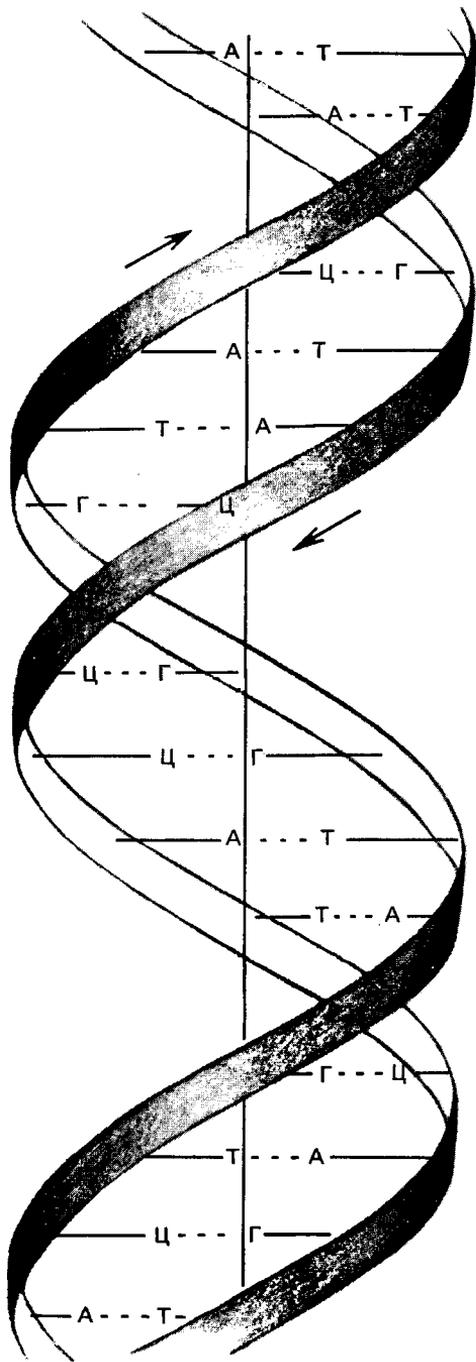
Живая природа представляет нам картину, которая по своему волнующему богатству, красоте, игре красок, разнообразию и причудливости форм несравнима ни с чем другим.

Формы организмов моделируются в процессе эволюции. Чтобы понять истоки форм организмов, надо «спуститься» на уровень микромира атомов и молекул.

В свое время Дж. Холдейн отмечал, что единство жизни основано на асимметричном характере ее молекул. До него Луи Пастер писал: «Вселенная – асимметричный ансамбль. Я полагаю, что жизнь в том виде, в каком мы ее знаем, должна быть функцией асимметрии мира и ее следствием».

Несмотря на невообразимое разно-

¹ Перевод Н. Вольпин.



Изящная двойная спираль ДНК

образе форм живых организмов, основных исходных моделей немного: спираль, клубок, пятиугольник, «труба», «дерево», «звезда». Эти формы повторяются на различных уровнях организации новой материи. Очевидно, в процессе эволюции они оказались наиболее подходящими, так как отвечали многим требованиям: облегчению метаболизма и самовоспроизведения, оптимальности с точки зрения биоэнергетики, приспособлению к среде.

Патриархом форм жизни является спираль. В сущности, это самая распространенная форма во Вселенной, от атомов до галактик. Самая распространенная молекула в живой материи — молекула ДНК — имеет форму тонкой двойной спирали. Эта форма обеспечивает ряд биологических преимуществ — в тесноте микромира гибкая спираль является исключительно подходящей формой. У некоторых растений длина молекулы ДНК, находящейся в хромосоме, достигает 40 м. И ее необходимо заключить в клеточном ядре размером несколько микрон. Такая компактность упаковки достигается путем плотного закручивания двойной спирали, при этом отдельные витки спирали сцеплены друг с другом, как зубцы «молнии».

Закрученная таким образом спираль помещается в хромосоме, являющейся ее домом. Этот дом позволяет ДНК сохраниться и передавать дальше инструкции о построении новых биологических форм.

Спираль — это незамкнутая геометрическая кривая, которая очерчивается вокруг точки, постепенно удаляясь от нее. Существуют различные виды спиралей в зависимости от изменения радиуса-вектора при изменении угла поворота. Простейшая спираль открыта Архимедом в III в. до н. э. У этой спирали каждый виток постепенно удаляется от центра, но шаг витка остается постоянным, т. е. длина радиуса-вектора пропорциональна углу поворота. Игла граммофона движется по архимедовой спирали, но в обратном направлении, к центру спирали. Таким же образом закручены раковины некоторых головоногих моллюсков.

Особый интерес представляет так называемая равноугольная или логарифмическая спираль, впервые исследованная французским математиком и философом Рене Декартом (1638), а позже швейцарским математиком Якобом Бернулли (1698). Эта спираль всегда пересекает свои радиусы-векторы под одним и тем же углом. Чем меньше угол, тем более развернута спираль, и наоборот. Длина радиуса-вектора этой спирали увеличивается с удалением спирали от центра. Бернулли доказал, что в этом случае логарифм радиуса пропорционален углу поворота. Поэтому такая спираль называется логарифмической. Бернулли открыл также, что если взять из логарифмической спирали произвольную часть и рассматривать в увеличенном виде, то найдется точно соответствующая ей другая часть этой же спирали. Это свойство описанной спирали настолько удивило ученого, что он распорядился после смерти поставить себе надгробие и высесть на нем логарифмическую спираль и следующие слова: «Изменяясь, я все же остаюсь всегда прежним». Как не вспомнить Шекспира:

Как печать передай

и в дальнейшем

Потомстве свой отпечаток.

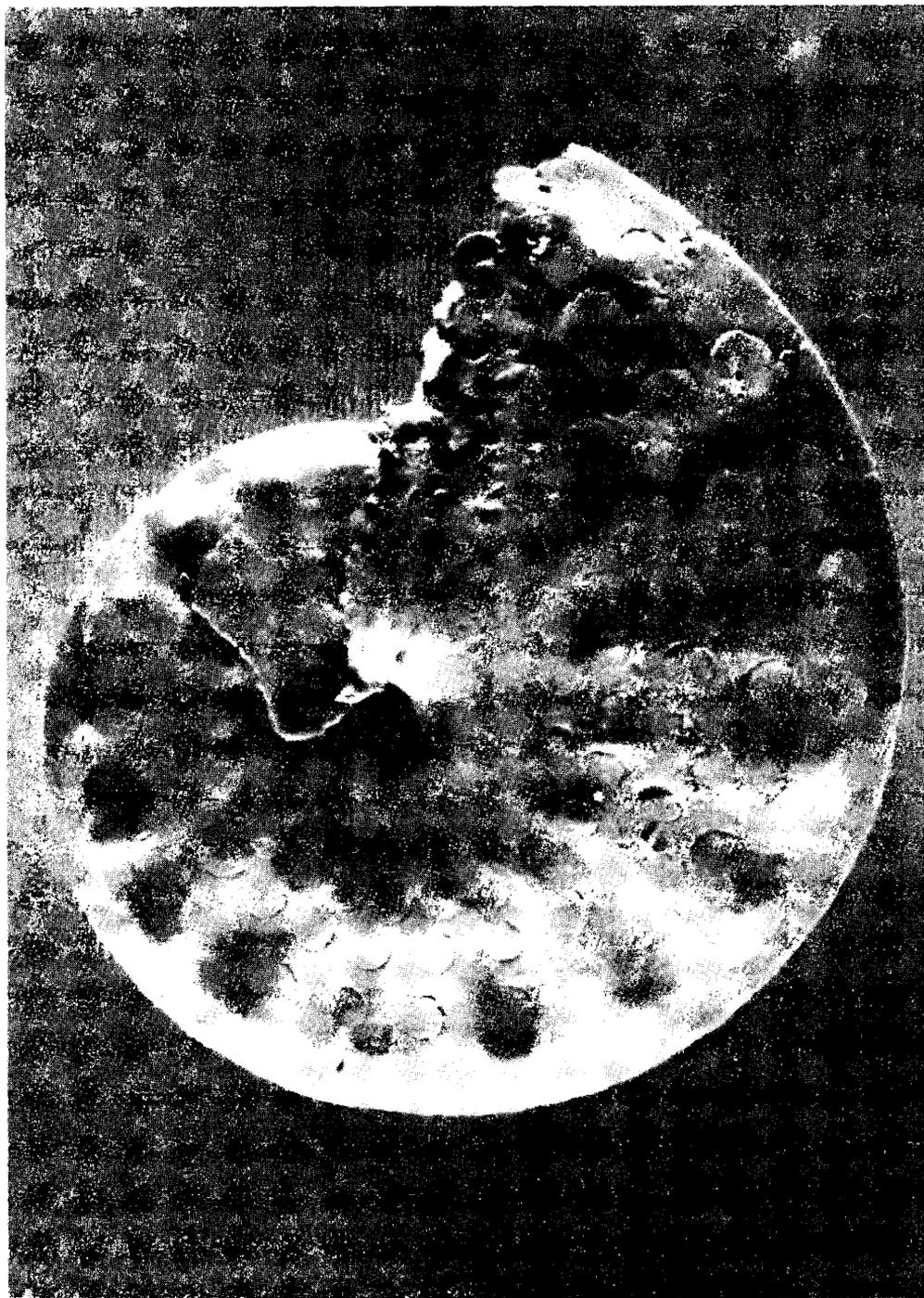
Логарифмическая спираль разворачивается очень быстро и создает более динамичную форму, чем «неповоротливая» архимедова спираль. Поэтому она «предпочтительнее» и очень распространена среди живых организмов: строение диска подсолнуха, папиллярные линии на пальцах человека, расположение чешуек в основных шишках, строение цветка ромашки, раковины наutilusа и большинства аммонитов. Раковины аммонитов, например, растут только в одном направлении и поэтому напоминают рог горного козла, который также имеет спиральную форму. Спиральные формы играют и роль своеобразного скелета клетки. Они характерны также для ряда морских микроорганизмов; например, фораминиферы в большинстве случаев имеют раковину в форме логарифмической спирали. На основании исследова-

ния фораминифер Атлантического океана было установлено, что теплолюбивые формы имеют левозакрученную раковину (против часовой стрелки), а у холодолюбивых форм раковина закручена вправо, т. е. по часовой стрелке. По этим особенностям спиральных раковин фораминифер разработан метод сравнения осадков различных областей и восстановления климатической зональности древних бассейнов.

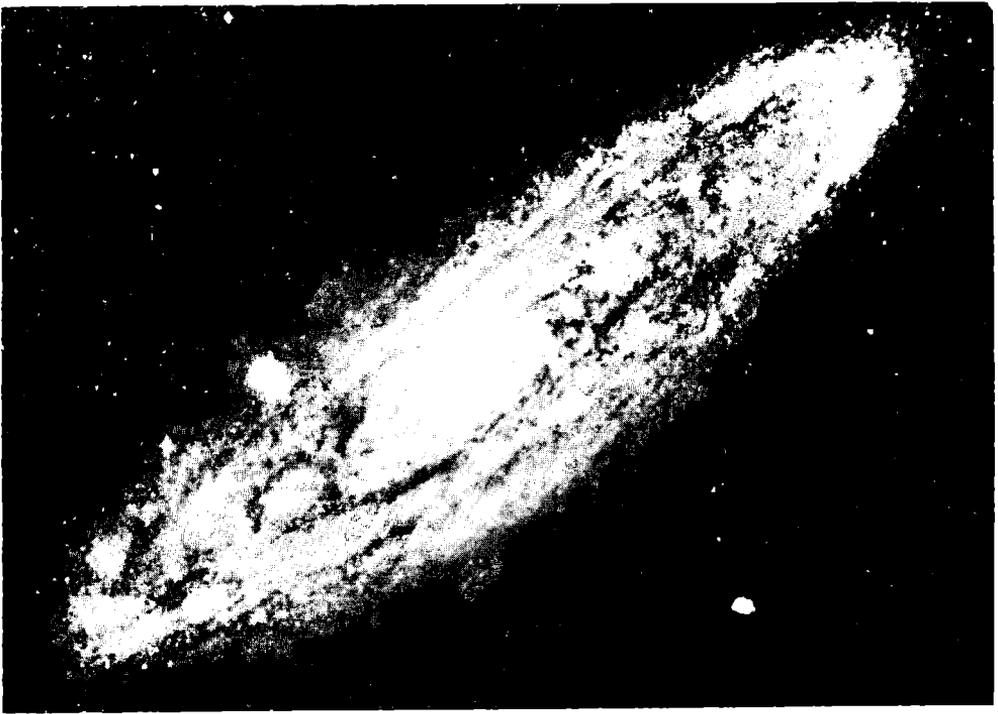
Зарождение спирали в организмах все еще необъясненный процесс. У всех эмбриональных структур клетки обычно расположены радиально. Однако некоторые организмы приобретают спиральные формы уже при третьем делении, когда образуется 2^3 , т. е. 8, клеток. Но спиральная форма выходит за клеточный уровень. Едва ли надо добавлять новые примеры к тем, которые уже приведены, чтобы показать, что «золотая спираль» представляет одну из универсальнейших форм жизни. Очевидно, информация о спиральном развитии заложена еще в первичной клетке. При этом даже организмы, которые позже развиваются в макроструктуру, отличную от спирали, имеют в своем строении спиральные структуры: это, например, микротрубочки клеточного скелета, волокна соединительной ткани, кровеносные сосуды. Спиральная форма помогает движению (черви, змеи), плотно «сшивает» соединительные ткани и т. д.

Вспомним снова, что спиральная форма известна от микромира до галактик. Именно галактики – величайшие из спиральных образований.

Круглая (сфероидная) форма также хорошо представлена в живом мире. Таковую форму имеют внешние очертания клетки, а также некоторые водоросли, некоторые фораминиферы и радиолярии, лимфоциты, яблоки и другие плоды, морские ежи, яйца ряда организмов, бактерии и так называемые золотистые стафилококки, некоторые цветы и др. Сфероидная форма энергетически очень выгодна. Она имеет малую поверхность при большом объеме. При этом сфера как биологическая форма весьма динамична: она может легко трансформиро-



*Аммонит из верхнего мела.
Раковина завит в форме ло-
гарифмической спирали*



ваться в эллипсоид, цилиндр или конусоид, приспосабливаясь к различным трудным или необычным условиям среды. Строение сфероидной формы и наиболее экономично. И все же эта форма не самая распространенная в живой природе. Такую форму имеют в основном одноклеточные организмы и некоторые многоклеточные (например, морские ежи), которые живут в однородной среде. Приблизительно сфероидную форму имеют планеты.

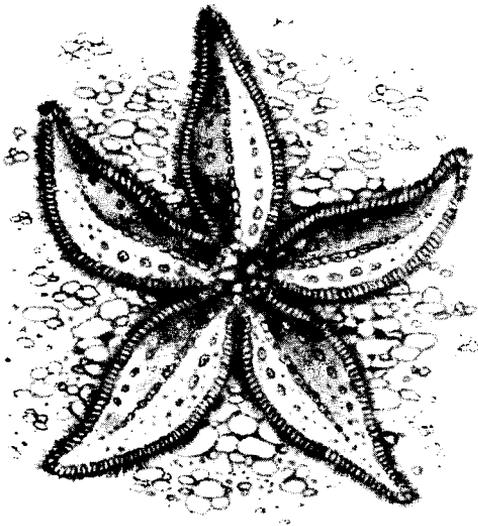
Интересно, что в процессе эволюции жизнь испробовала многие формы, в том числе и сфероидную, но не приняла ее как широко перспективную, потому что среда, как правило, характеризуется неоднородностью и изменчивостью.

Пятиугольная и шестиугольная формы также известны среди живой материи. Это не может нас сильно удивлять, так как эти формы отмечаются и в неживой природе — у кристаллов. Но они встречаются, хотя и редко, и в живой природе, там, где являются наиболее подходящими. Например, пяти- и шестиугольные формы помогают однокле-

Спиральная туманность в созвездии Андромеды. Спираль — широко известная форма от микромира до мира галактик

точным губкам захватывать больше питательных веществ из окружающей среды. Кровеносные сосуды имеют пятиугольное сечение, которое оказывается наиболее благоприятным для кровоснабжения. Такая симметрия возникает всегда, когда в ограниченном объеме концентрируются элементы с относительно одинаковой формой, например сферические. Так, при увеличении в клетках так называемых пиноцитозных пузырьков, с помощью которых переносятся питательные вещества, характер их распределения на клеточной мембране приближается к пента-, а позже и к гексагональной симметрии.

Трубчатая форма исключительно важна, хотя и не очень распространена. Она связана с двумя основными функциями — транспортным каналом (различные сосуды в организме, нервы и



Морская звезда

т. п.) и опорой (различные ткани, стебли растений, ствол бамбука и т. п.). Эта форма эволюционно перспективна при возникновении двусторонней симметрии и ведет далее к процессу цефализации, о котором речь впереди.

Древовидная форма также хорошо представлена среди организмов как на микро-, так и на макроуровне (обычное дерево, без кавычек!). Древовидную форму имеет система снабжения организма кровью и питательными веществами, представляющая собой уменьшенную копию обычного сложно разветвленного дерева и обеспечивающая организм через свои трубчатые сосуды-капилляры-энергией. Модель дерева используется даже многими цветами: их лепестки разветвляются подобно веткам деревьев, чтобы не затенять один другого.

«Звезда» — своеобразная разновидность древовидной формы, характеризующаяся разветвлением в разных направлениях от одного центра. Ответвления у звездчатых форм могут одновременно играть роль ног. Такая форма встречается у некоторых водорослей, цветов, иногда звездчатую форму приобретают красные крапчатые тельца. Наиболее четко она выражена у морских звезд.

Нельзя не отметить удивительного

совпадения малого числа основных биоорганических элементов (6) и малого числа основных форм живой материи (6), хотя в этом нет никакой, ни прямой, ни косвенной, связи. Здесь проявляются наиболее общие законы природы. Поразительно, что формы микромира переходят и в макромир, вплоть до галактик. Жизнь, избрав в ходе эволюции несколько основных форм, с исключительным упорством повторяет их на различных уровнях и в различных сочетаниях, создавая огромное и пленительное разнообразие живого мира.

Вероятно, как и при выборе химических элементов, жизнь избрала для своего развития «самые удобные» и одновременно самые благоприятные формы. Спиральная форма ДНК поразительно подходит для «квартирования» в небольшом пространстве и сбора огромной информации. На более высоком уровне спираль дает ряд других динамических и энергетических преимуществ. «Труба», «дерево», «звезда» и сфероид собирают и хранят энергию, транспортируют питательные вещества, в отдельных случаях способствуют движению, укрепляют ткани.

Эти основные формы повторяются не только на различных уровнях живой материи, но и во времени на протяжении миллиардов лет долгого пути жизни. При этом создается впечатление, что микромир был своеобразным испытательным полигоном, на котором апробировались первичные формы, прежде чем получить «путевку» в жизнь. Это было правилом по крайней мере в отношении эволюции «золотой спирали», двойная спираль образовалась именно в микромире. Сфероидная форма раньше всего появляется у древних бактерий.

Создавая основные формы, функции и тенденции развития, жизнь уже в начале своей эволюции вырабатывает стратегию, которую осуществляет, несмотря на препятствия, а, может быть, именно благодаря препятствиям, встающим перед ней. Хотя человек еще не появился, мы позволим себе завершить эту главу символическими стихами бельгийского поэта Эмиля Верхарна:

Жизнь простирается широко,
горделиво,
По ней надежда мчит во весь опор,
И воля человека в общий хор
Сливается с желаньями вселенной.
Могущества источник сокровенный
Рождается в душе. Спешишь
вперед идти,

И кажется преграда на пути
Лишь камнем, чтоб на нем точить
и править силы¹.

А преград на пути жизни, как мы увидим, было много, и прежде всего необходимо было преодолеть главнейшую из них – отсутствие кислорода в атмосфере.



ФАКТОРЫ И ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ ЭВОЛЮЦИИ

Современная теория эволюции представляет собой синтез классического дарвинизма с новейшими достижениями генетики. Этот синтез был осуществлен в начале сороковых годов XX в.

Основные положения современной синтетической теории эволюции следующие: 1. Наименьшей элементарной единицей эволюции является популяция – совокупность индивидов одного вида, которые могут скрещиваться между собой. 2. Основными факторами эволюции являются: мутационный процесс, популяционные волны, изоляция. 3. Основной движущей силой эволюции является естественный отбор случайных мутаций.

Синтетическая теория эволюции рассматривает процессы видообразования применительно к организмам. Но помимо отдельных организмов, которые изменяются, эволюция распространяется на всю жизнь как целостную систему, т. е. на всю биосферу. Этот аспект современной эволюционной теории еще ждет своей разработки. Целостная теория эволюции требует охвата всего живого: бактерий, водорослей, всех других растений и животных.

В настоящее время общепринято, что наименьшая, элементарная единица эволюции – это популяции. Исследования популяционной структуры видов показывают, что большинство видов состоит из пространственно обособленных локальных популяций, способных действовать или потенциально скрещиваться, т. е. обмениваться генами. В результате взаимодействия генотипа со средой фор-

мируется фенотип – вся совокупность признаков индивида (его внешний вид).

Основной материал эволюции поставляется мутациями – изменениями общего кода наследственной информации индивида. Мутации могут быть как спонтанными, так и спровоцированными действием определенных факторов: облучением, влиянием химических веществ, резкими колебаниями температуры и др. Мутации могут быть полезными, вредными и нейтральными. Мутационный процесс плюс рекомбинации на различных уровнях дают материал для эволюции, но они не могут направлять саму эволюцию. На направление эволюции данной группы в некоторой степени влияет ее историческое (эволюционное) прошлое. Именно это определяет дальнейший эволюционный путь, но налагает определенные ограничения (запреты). Например, у обезьян могут возникать различные мутации, но никогда не возникнет такой, в результате которой обезьяна покроется перьями.

В конце 1960-х годов было открыто явление, названное вырожденностью наследственного кода, что проявляется в уменьшении значения третьей буквы триплета. Например, сочетание УУУ (урацил – урацил – урацил) кодирует синтез аминокислоты фенилаланин, но этот синтез может кодироваться и триплетом УУЦ, а аминокислота валин может кодироваться четырьмя вариантами: ГУУ, ГУЦ, ГУА и ГУГ. С этим фундамен-

¹ Перевод Э. Линецкой.

тальным открытием математической генетики связана идея так называемой «недарвиновской эволюции», или эволюции без участия естественного отбора.

Вторым основным фактором эволюционного процесса являются популяционные волны. Это явление открыто С. С. Четвериковым в 1905 г. В известной работе «Волны жизни» Четвериков обращает внимание на то важное обстоятельство, что численность вида нестабильна и подвержена колебаниям. Последние приводят к несимметричным отклонениям состояния популяции в положительную или отрицательную сторону. Они могут быть вызваны разнообразными причинами, но чаще всего связаны с климатическими изменениями, изменениями запаса пищи, катастрофическими природными явлениями, такими, как извержения вулканов, подводные землетрясения и связанные с ними огромные волны, ураганы, пожары и т. п. В результате этих колебаний, если они отрицательны, может происходить угрожающее для существования вида уменьшения численности популяции (небольшая группа индивидов не может существовать длительное время) или, если они положительны, популяция может, как «волна», расширить свое распространение, потеснить или полностью вытеснить другие популяции. Такие колебания (флуктуации) могут случайно и резко привести к изменению генотипа.

Третьим элементарным фактором эволюции является изоляция. Она препятствует свободному скрещиванию и способствует закреплению различий, возникающих в отдельных частях популяции. Изоляция бывает географическая и биологическая.

К факторам, доставляющим материал для эволюции, несомненно, следует причислить и роль вирусов в генетическом обмене в биосфере и, следовательно, в эволюции жизни на Земле. В последнее время становится все более очевидной роль вирусов как переносчиков генетической информации от одного вида к другому. Эта идея, как подчеркивают развивающие ее ученые, объясняет важную особенность жизни: ее генетико-

информационное единство, которое вместе с единой химической основой и историческим единством характеризует живой мир как непрерывно обогащающуюся систему.

Движущей силой эволюции является естественный отбор. Он совершается на разных уровнях в мире организмов, и прежде всего в популяции. Объектом отбора являются индивиды, характеризующиеся определенными признаками. В результате изменчивости появляются индивиды с различными возможностями успеха в борьбе за существование. При отборе происходит избирательное сохранение тех организмов, которые имеют наибольшие шансы оставить потомство, — тех, чья биологическая организация находится в большей гармонии со средой. Отбор отбрасывает генотипы с низкой жизнеспособностью. По выражению Дарвина, природа оценивает организмы по «успеху в оставлении потомства». Следовательно, естественный отбор утверждает результаты экспериментов природы, он является движущей силой эволюции. Новые научные данные показывают, однако, что естественный отбор — не единственный движущий фактор эволюции. Считается, что так называемые нейтральные процессы дрейфа генов (изменение частоты одних или других генов в популяции) также играют определенную роль в эволюции.

Интересно отметить, что математические модели эволюции, построенные известным кибернетиком У. Эшби, подтверждают, что основной движущей силой эволюции является естественный отбор.

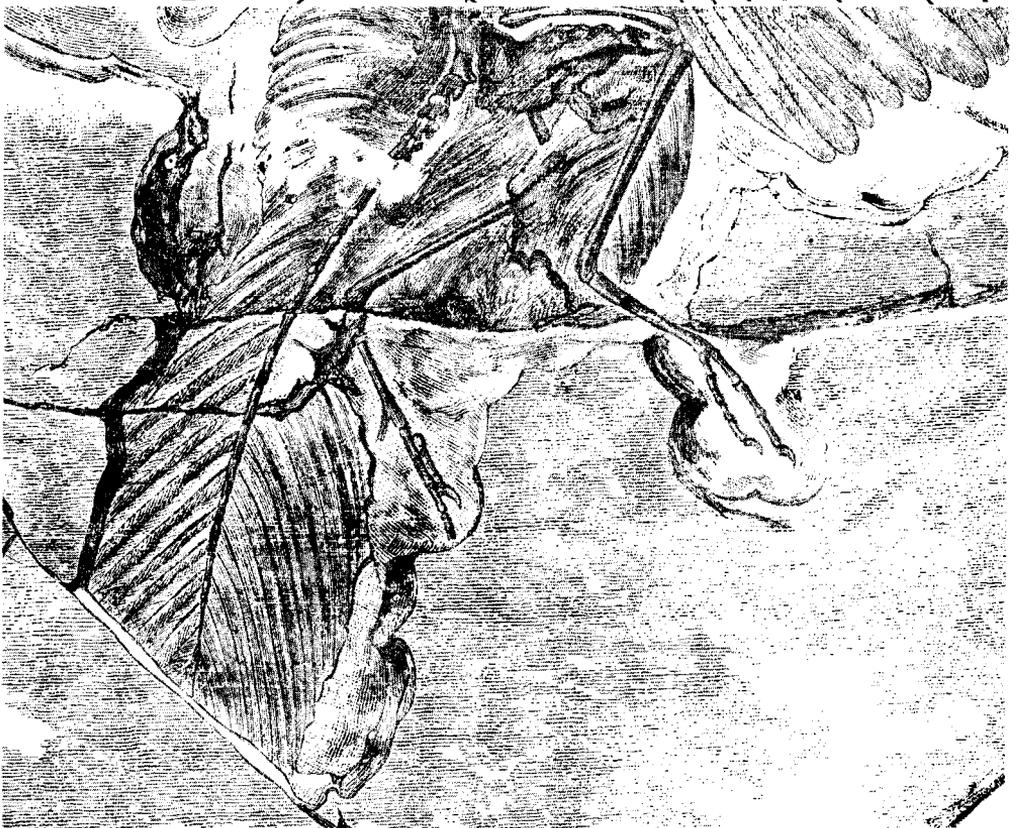
Известный биохимик Дж. Уолд пишет: «Организация, упорядоченность, которые характерны для живых организмов, не были предрешены и преднамеренно даны. Они возникли в результате случайных мутаций — этот процесс сходен с редактированием. По этой причине и мы являемся результатом работы редактора (естественного отбора), а не творца».

Жизнь от простейших организмов до биосферы как целого является сложной системой, в которой есть своя иерархия

механизмов и «запретов»: молекулярно-генетические, физиологические, экологические и поведенческие. Все это в своем сложном взаимодействии определяет направление эволюции, но не исключает разнообразия вариантов. Наоборот, не им ли обязана эволюция своим движе-

нием, которое представляется нам как волнующие вариации на одну тему: самой жизни.

На следующих страницах на основании конкретных данных каменной летописи дана картина жизни от конца докембрия до современной эпохи.



4. ВЕЛИКИЙ ПЕРЕЛОМ



РУБИКОН ПЕРЕЙДЕН

Прошло около 4 млрд. лет от рождения Земли. Безбрежный синий океан покрывает две трети земной поверхности. Суша представляет собой один огромный суперконтинент, рельеф которого слегка разнообразят невысокие горные цепи, тянущиеся на тысячи километров. Земная твердь разрывается трещинами и глубокими безднами. Из жерл многочисленных вулканов изливаются красные потоки лавы, которые быстро остывают и чернеют. Суша все еще безжизненна и мрачна.

В это время жизнь уже широко распространилась в океане и непрерывно меняет свои формы и функции. Живые организмы постепенно усложняются. «Жизни присуща тенденция к распространению, — пишет известный генетик Ф. Добржанский, — и она использует для этого любую возможность, сколь бы она ни была ограничена».

Благодаря быстрому развитию фотосинтезирующих растений содержание свободного кислорода в атмосфере начинает заметно возрастать. Когда количество O_2 достигает 1% его концентрации в современной атмосфере, возникает механизм дыхания и появляются необхо-

димые для этого ферменты. Дыхание да- ло жизни огромные энергетические вы- го- ды. Известно, что при дыхании энерге- тические результаты, выраженные в ка- лориях, в 10 раз больше, чем при фермен- тации. Кислород, который накапливался в атмосфере и воде, открыл необъятные горизонты для расцвета жизни, но он был смертельно опасен для многих древ- них организмов. Эволюция полна пара- доксов, но этот — один из самых порази- тельных: противоречие между перспек- тивным значением O_2 для развития жиз- ни и его токсичностью. Хотя это проти- воречие существует и сегодня, жизнь преодолела его огромной силой самоор- ганизации. Вероятно, большую роль в этом сыграли те микроорганизмы, ко- торые способны жить и в бескислород- ной, и в кислородной среде. К ним отно- сятся дрожжи и большая часть бактерий.

С появлением первого осязаемого количества свободного кислорода, ве- роятно, сработал механизм обратной связи, который сдерживал увеличение ко- личества O_2 в атмосфере, сохраняя его на уровне около 1% от содержания в совре- менной атмосфере. Это — уровень точки Пастера, при которой осуществляется

переход от ферментации к дыханию. Механизм обратной связи ферментация – дыхание – ферментация – дыхание, по-видимому, существовал длительное время, по крайней мере около 1 млрд. лет. Этим можно объяснить различия в мнениях исследователей относительно положения точки Пастера на шкале времени: одни относят ее на 2–1,8 млрд. лет назад, а другие – примерно на 1 млрд. лет назад. Очевидно, имеются основания как для одной, так и для другой точки зрения: жизнь в протерозое (между 2 и 1 млрд. лет назад) находилась на границе между

ферментацией и дыханием. В освещенных зонах океана, населенных фотосинтезирующими растениями, возникали первые кислородные оазисы, где жизнь начинала буквально бурлить.

Переход от ферментации к дыханию (эффект Пастера) завершается около 1 млрд. лет назад. Этот переход дал важнейший энергетический импульс развитию всех организмов: одноклеточных и особенно многоклеточных. Этот решительный шаг можно сравнить с переходом Рубикона. Он обозначил начало великого перелома в развитии жизни.



БЕГЛАЯ ХРОНИКА ОДНОЙ ВЕЛИКОЙ ЭПОХИ

Из микроскопических одноклеточных за короткое (в геологическом смысле!) время развиваются многоклеточные организмы со сложной организацией и специализацией. Некоторые из них прикреплялись к морскому дну или пассивно «парили» в воде, другие были подвижны и плавали с помощью тонких ресничек и (или) жгутиков. Эти существа дали начало губкам, медузам, червям, кораллам. С другой стороны, от них произошли многоклеточные растения.

Особый интерес представляют макроскопические многоклеточные растения из формации Белт Северной Америки и из так называемой донамской серии Юго-Западной Африки. Эти формы рассматриваются как фитобентос (прикрепленные растения). Очень богата и более молодая вендская флора Русской и Сибирской платформ. В ней широко представлены остатки лентовидных вытянутых, иногда кустовидно разветвляющихся форм, объединяемых под общим названием «вендотениды». Благодаря уникальным находкам хорошей сохранности стало известно клеточное строение вендотенид. Предполагается, что это древние бурые водоросли, которые, вероятно, являются предками высших споровых растений.

Другая весьма интересная группа растительного мира позднего протерозоя, более примитивная, чем вендотениды, ведет свое начало от микрофитопланктона – это так называемые чуариаморфиды. Воды позднепротерозойских морей изобиловали этими сферическими гигантами фитопланктона (диаметром до 45 мм).

Предполагается, что первые одноклеточные планктонные эукариотные организмы – предшественники метазоа – возникли в среднем рифее (1,35–1 млрд. лет назад). Древнейшие представители многоклеточных животных известны с позднего рифея (700–600 млн. лет назад).

В 1947 г. в холмистой области Эдиакара в Южной Австралии, к северу от Аделаиды, австралийский геолог Р. Спригг сделал открытие, явившееся поворотным пунктом в развитии наших знаний о древней жизни. В пластах песчаников возрастом 650–700 млн. лет Спригг обнаружил следы и отпечатки ископаемых организмов очень четкой морфологии: водоросли, медузы, кольчатые черви, кораллообразные существа, листовидные и папоротниковидные стебли, которые первоначально были приняты за водоросли. Позднейшее внимательное изучение этих листовидных и папоротни-

ковидных отпечатков показало их сходство с одной из групп современных кораллов.

Ископаемые животные из Эдиакары относятся в основном к трем типам: кишечнополостные (*Coelenterata*), кольчатые черви (*Annelida*) и членистоногие (*Arthropoda*). Большинство из них вымерло до начала кембрия. Самой замечательной их особенностью является отсутствие скелета или раковины. Именно отсутствием скелета объясняется загадка редкой встречаемости древних организмов в докембрийских породах.

Эволюция еще не открыла раковины, прочного стебля, скелета, но уже освоила половое размножение, многоклеточность и образовала внутренний пищеварительный тракт. Формирование сквозного пищеварительного тракта было одним из важнейших достижений в эволюции животных, обеспечившим развитие двусторонней симметрии.

Разнообразие древних организмов из Эдиакары удивительно, но не случайно. Оно является результатом продолжительной предшествующей эволюции. Решительный перелом в эволюции произошел за 300–350 млн. лет до этого и был связан, как отмечалось выше, с увеличением количества свободного кислорода в атмосфере.

Наряду с развитием животного мира, что впервые так ярко проявилось в эдиакарской фауне, продолжается и развитие растений. Специфический характер древней фауны эдиакарского типа, открытой в Австралии и позже обнаруженной также на Русской и Сибирской платформах, дал основание Б. С. Соколову (1952) выделить в верхней части протерозоя самостоятельную систему. Эта система названа вендской по имени славянского племени вендов. Вендская система объединяет отложения верхнего протерозоя, которые характеризуются остатками бесскелетных многоклеточных животных.

Отличительной особенностью вендской системы является то, что она включает планктарно развитую ассоциацию организмов, получившую распространение после большого ледникового периода – лапландского.

Список действующих лиц в «драме жизни» быстро увеличивается. Как обычно, в ходе эволюции вместе с мирными жителями появляются хищники. Две крайние группы – жертвы и хищники – перелетаются в сложную цепь со многими переходными звеньями.

Очевидно, включение хищников в жизнь сразу вызвало необходимость появления твердого скелета или раковины. Удивительно, но и здесь эволюция не приняла немедленного решения. Она ставит опыты: у первых кишечнополостных мягкое тело пронизано тонкими «иголочками» и другими тонкими скелетными элементами. Такие «иголочки» встречаются и у червей. Позднее появляется покровный панцирь у членистоногих, который защищает тело сверху. Наконец, появляется раковина, которая охватывает, как панцирь, все тело. После лапландского оледенения (около 700 млн. лет назад) вендское море наступает на большую часть равнинной суши. Это способствует расселению в условиях мелкого шельфового моря появившихся пелагических, а также ряда бентосных беспозвоночных. Активность водной среды явилась еще одной причиной появления жесткого скелета. В редких случаях в конце вендской эры появляются организмы с хитиной оболочкой и с защитными структурами, в различной степени подверженными фосфатной, кремнистой и даже карбонатной минерализации.

Вообще в вендской системе обнаружены представители следующих типов беспозвоночных животных: разнообразных бентосных и пелагических кишечнополостных классов *Hydrozoa*, *Siphonophora*, *Scyphozoa*, *Conulata*, *Anthozoa*; кольчатых червей (*Annelida*), различных полихет и следы их деятельности; членистоногих классов *Trilobitomorpha*, *Crustacea* и, вероятно, *Opuchophora*; известны следы ползания бесскелетных моллюсков (мягкотелых); погонофор (*Sabelliditida*); губок, а также, вероятно, иглокожих и других проблематичных (не установленной принадлежности) групп.

Эволюционный скачок от планктонных гетероморфных микроорганизмов к планктонным, а позже и к бен-

тосным многоклеточным столь же велик, как скачок от деревянной телеги к реактивному самолету.

В начале кембрия, 600 млн. лет назад, происходят серьезные изменения химизма океана. В результате этого животные получили возможность усваивать минеральные соли в больших количествах. К началу этой эпохи и сами животные в

биохимическом и физиологическом отношении стали более совершенны, что открывало перед ними широкие возможности построения жесткого скелета. Чаще всего скелет строится из CaCO_3 , но различные группы животных могли выбрать и другие соединения: кремнезем, фосфат кальция, хитин, сульфат стронция и др.



ВЕЛИКОЕ РАЗВЕТВЛЕНИЕ

Вендско-эдиакарская жизненная ассоциация является началом великого разветвления (дивергенции) в животном мире. Это разветвление приводит уже в начале кембрия к формированию всех главных типов беспозвоночных животных. Как отмечает Б. С. Соколов, решающую роль здесь сыграла адаптивная радиация, т. е. развитие по многим направлениям, связанное с приспособлением к совершенно новой и разнообразной экологической среде – дну шельфового моря, заселенного богатым растительным бентосом. Вследствие увеличения разнообразия живых организмов происходит формирование новых цепей питания. Разнообразие дает новый стимул эволюции. Не случайно Еврипид говорил: «Разнообразие полезно».

Разветвление путей животного мира отражает завершение великого перелома в эволюции. Оно отмечает границу между двумя крупными зонами: криптозойским (докембрийским) и фанерозойским. Докембрий явился прологом к постановке огромной и динамичной «драмы жизни» в фанерозое. Внешняя декорация в начале кембрийского периода мало отличается от вендской, но над бескрайней ширью океана под восходящей зарей в океанской воде со все нарастающей силой кипит жизнь. Она набирает скорость подобно волнам, усиливающимся от ветра. Это обусловлено несколькими основными факторами: 1) увеличением разнообразия экологиче-

ских параметров в различных частях океана; 2) изменениями химизма вод океана; 3) увеличением содержания O_2 в атмосфере и в океанской воде; 4) усилением жизнеспособности различных организмов; 5) появлением жесткого скелета и жесткой оболочки, которые защищают животных от врагов.

Механизм естественного отбора усиливает свое действие и является причиной как разветвления и разнообразия жизни, так и ее совершенствования.

Прежде чем достигнуть великого разветвления, жизнь на своем долгом пути прошла следующие узловыe этапы:

Первый. Появление в условиях Земли пробионтных систем, способных к самовоспроизведению и гетеротрофному питанию (вероятно, 3,5–3,8 млрд. лет назад).

Второй. Возникновение первых безъядерных клеток (прокариот) около 3,5 млрд. лет назад. Возникновение фотосинтезирующих механизмов у прокариотных организмов, что открывает возможность увеличения O_2 биогенным путем. В это время эволюция бактерий и цианофитов уже, вероятно, шла параллельно и независимо.

Третий. Проявление эффекта Пастера – возрастание содержания O_2 до уровня, отвечающего 1% его концентрации в современной атмосфере, – означает поворотный момент в эволюции: переход от ферментативного метаболизма к кислородному дыханию. Этот переход осуше-

ствился между 2 и 1 млрд. лет назад. В его начале возникают эукариотные клетки (клетки с ядром), которые резко повышают жизнеспособность организмов. Возникают простейшие колониальные объединения нескольких клеток (1,6–1,35 млрд. лет назад).

Переход через точку Пастера оказал революционное влияние на эволюцию эукариотных организмов 1 млрд. лет назад. Появляются первые метафиты, пелагические и бентосные метазоа.

Действительно, как долго просуществовала жизнь, прежде чем достигнуть своей первой кульминации – великого разветвления, когда возникли все основные типы беспозвоночных животных и произошел «популяционный взрыв» скелетных беспозвоночных животных в начале кембрия.

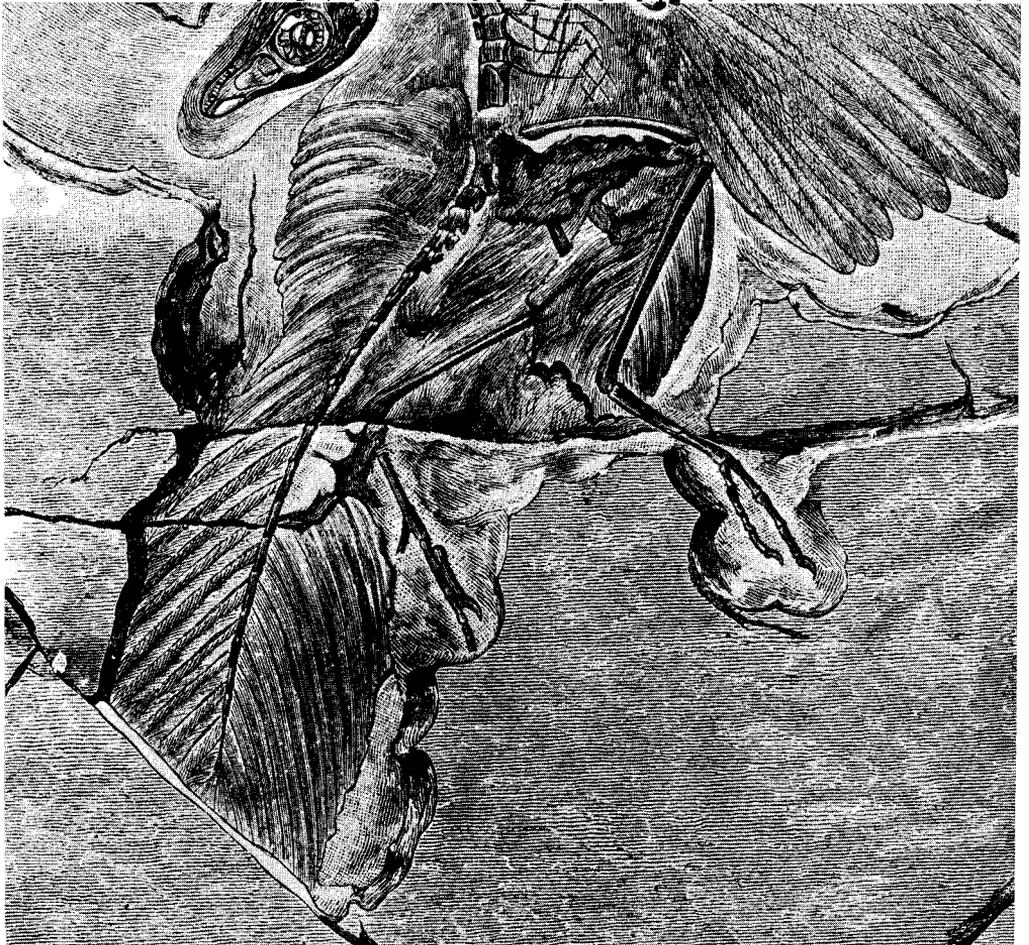
«Нет нужды облекать истину в мифы», – писал Герцен, а Гёте часто повторял: «Увидеть возникновение чего-нибудь – наилучший способ это объяснить». Внимательное изучение якобы внезапного разветвления и бурного развития родословных линий животных в начале кембрийского периода показывает, что процесс великого разветвления уходит корнями в предыдущие этапы эволюции. Сложное сочетание в пространстве и времени ряда факторов эво-

люции живой и неживой природы приводит к волшебному разнообразию живого мира.

В своей книге «Гегель и Гёте» советский философ Г. Н. Волков пишет, что, по Гёте, «природа является как танцующая баядерка во всем блеске и великолепии, в ритме вращения, в смене фигур и шагов, грациозно переходящих, играя, один в другой...

Природа! Без просьб и неожиданно она увлекает нас в вихрь своего танца и несет нас, опьяняя, пока мы, усталые, не упадем на ее руки. Сама она не знает усталости, не знает покоя, она продолжает свой вечный танец. Она предлагает нам дивное зрелище, и мы наслаждаемся им, скрытно из-за угла. Зрелище постоянно новое, потому что она творит новых зрителей».

Этап, начало которого отмечено великим разветвлением жизни, является замечательным временем; оно подразделяется на три эры: палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую. На протяжении этих трех эр нарастающая лавина жизни выступает как «дивное зрелище», в котором есть разные герои: и обычные созерцатели, и истинно активные творцы, и перспективные персонажи, и много других, которые «танцуют всего одно лето».



5. ЖИЗНЬ НАБИРАЕТ СКОРОСТЬ

Жизнь, как и басня, ценится не по длине, а по содержанию

Сенека



РАСТЕНИЯ В АВАНГАРДЕ ЭВОЛЮЦИИ

К началу палеозойской эры жизнь уже миновала большую, может быть самую трудную, часть своего пути. Сформировались две основные ветви живого мира: растения и животные. С самого своего возникновения эти две группы организмов связаны в единую энергетическую систему. Растения поставляют животным пищу и свободный кислород, а животные снабжают растения углекислотой. Между ними существуют и коренные различия, возникшие еще в самом начале биологической эволюции. Для своего развития растения нуждаются в углекислоте и свете, с помощью которых путем фотосинтеза они вырабатывают питательные вещества. Все животные используют в пищу готовые органические вещества: растительные ткани или вторично других животных. Поэтому животные находятся в тесной зависимости от растений, которые снабжают их кислородом и стоят в основании пищевой пирамиды жизни. Следовательно, животные не смогли бы развиваться теми темпами, которыми характеризуется их эволюция, если бы на передний край эволюции не «вырвались» растения.

При всякой решительной атаке всегда появляется некто, кто выдвигается вперед. Может показаться парадоксальным, что самые решительные шаги в эволюционной «атаке» предпринимают

неподвижные растения, а не подвижные животные. Однако животные «вступали» в атаку сразу же за растениями, и благодаря этому жизнь завоевывала новые сферы как в океане, в том числе в его мрачных глубинах, так и на суше, в том числе в ужасающе сухих пустынях.

Авангардную ролью в эволюции растения обязаны своей структуре (специфической системе сосудов), физиологии и способу размножения. Родословная растений начинается с морских водорослей. Первые древнейшие ископаемые остатки растений — цианофиты. Более 2,5 млрд. лет эти первые примитивнейшие растения населяли океан вместе с другими одноклеточными организмами. Вероятно, позже от них произошли зеленые водоросли.

Жизнь все еще находится в своей колыбели — океане, но условия постепенно меняются и становятся разнообразнее. Это ставит новые задачи перед одноклеточными организмами. Они пытаются преодолеть возникающие трудности путем создания новой структурной организации — многоклеточного строения. Может быть, первым шагом на этом пути было образование колонии клеток. Первоначально клетки в колонии были одинаковы. Позже возникает специализация клеток по функциям: питания, размножения и т. д. Переход от одноклеточ-

ного строения к многоклеточному у растений и животных происходил, очевидно, по общим принципам, но различными путями. Интересно, что если у животных успеха в развитии многоклеточной структуры добиваются активно движущиеся формы, то у растений более благоприятным для этого оказался прикрепленный образ жизни. Фиксированный образ жизни создавал лучшие условия для возникновения сложной корневой системы и талуса. Корень, стебель и ветви возникли не только для поддержки листьев, в которых осуществляется фотосинтез. Они составляют жизненно важную водопроводную (и следовательно, «пищепроводную») систему каналов, по которым вода с минеральными веществами поднимается до самого верха дерева. Своими порами листья поглощают углекислоту, и в результате фотосинтеза под воздействием солнечного света образуются сахара, вода и свободный кислород. Из листьев вода испаряется в атмосферу. Эта потеря влаги снижает давление внутри листьев и тонких веток. Понижение давления компенсируется соками, которые по системе каналов проходят через стенки клеток к листьям. Вся эта «сосудистая» система растения действует как своеобразная «помпа». Она непрерывно всасывает воду из почвы, задерживает ее небольшую часть и отдает значительное количество в атмосферу. Растения являются частью общего круговорота воды в природе, который имеет первостепенное значение для жизни.

Усложнение структуры растений играет огромную роль для их будущего. Линейная, древовидная или неправильная формы сильно увеличивают площадь растения, т. е. площадь поглощения углекислоты и солнечных лучей, которые необходимы для питания растений. Древовидная и неправильная формы создали возможность развития органов, которые выполняют различные функции. Все это требовалось «изобрести» эволюции прежде, чем растения выйдут на сушу.

Параллельно с возникновением и усовершенствованием способа питания растений решающее значение для даль-

нейшей эволюции имело образование полового аппарата размножения. Все примитивные микроорганизмы (бактерии, инфузории, сине-зеленые дробянки) с более низкой организацией, чем типичные водоросли, размножались вегетативным (бесполом) путем. При этом виде размножения образуются отростки (луковицы), которые укореняются и становятся самостоятельным растением, точно воспроизводящим своего родителя. И родитель в этом случае только один. При вегетативном размножении не происходит рекомбинации различных генов, т. е. потомки не приобретают новых свойств, которые могли бы послужить приспособлению к новой среде.

Размножение половым путем дает возможность возникновения новой линии развития. Новое поколение наследует свойства разных индивидов. Если условия среды благоприятствуют развитию новых наследственных черт, эволюция ускоряется.

Цикл полового размножения бессеменных талусных растений проходит две фазы. Для первой фазы необходима вода. Без нее сперматозоиды мужского растения не могут достигнуть и оплодотворить яйцеклетку женского растения. Из оплодотворенного яйца развивается новое растение, которое по размерам больше мужского растения первой фазы и имеет листья. Во второй фазе это большое растение образует споры – клетки, которые служат для размножения без оплодотворения. Они рассеиваются ветром, укореняются в почве и дают начало мелким безлистным растениям первой фазы. Цикл размножения завершается. Необходимость воды как переносчика сперматозоидов ограничивала распространение на сушу. Надо было искать другие пути.

Эволюция открыла этот новый путь – размножение семенами. Семя включает множество клеток, которые «упакованы» в питательную оболочку и снабжены оболочкой, предохраняющей их от вредных внешних воздействий. Когда семя отделяется от растений, оно уже содержит оплодотворенную яйцеклетку. После отделения от родительского рас-

тения семя уже является своеобразным миниатюрным организмом. Этот организм с зачаточными приспособительными устройствами сохраняется живым, пока не укоренится и не даст начало самостоятельному растению. Эти свойства семян открыли новые горизонты перед своими родителями, а бессеменные растения остались боковой ветвью эволюции и отошли на задний план.

Различные типы водорослей, которые обитали в раннепалеозойских морях, создали исключительно благо-

приятные условия для расцвета морских животных. Последние воспользовались этими условиями, начав размножаться массово (взрывом), и их эволюция протекала ускоренно.

Развитие растений знаменует еще один замечательный парадокс: оно протекает медленнее, их разнообразие не так отчетливо, как у животных, но узловые моменты имеют характер революционных скачков во всей эволюции живого мира. Следующий решительный шаг в эволюции растений – завоевание суши.



ДЕСАНТ НА СУШУ

Выход растений на сушу – один из величайших моментов эволюции. Он был подготовлен предыдущей эволюцией органической и неорганической природы.

В начале палеозойской эры суша была, по-видимому, все еще безжизненной. Но вероятно, к концу протерозоя началось образование почвы. Почвообразование стало возможным в результате взаимодействия неорганических (климат, минеральные частицы) и органических (бактерии, цианеи) факторов. Это подготовило первое условие для десанта на сушу – почву, на которую надо было выйти. Второе условие – увеличение содержания O_2 в атмосфере – было подготовлено при активном участии древних водорослей. К середине ордовикского периода (470 млн. лет назад) содержание свободного кислорода достигает 10% его концентрации в современной атмосфере. Это так называемая точка Беркнера – Маршалла, переход через которую навсегда утверждает кислородную атмосферу. Можно воскликнуть вслед за Гёте:

Это, это луч надежды,
просочившийся с небес!

Накопление большого количества кислорода в верхних слоях атмосферы приводит к образованию озона. Озоновый слой становится защитным экра-

ном, который встает на пути губельных для живых организмов коротковолновых ультрафиолетовых лучей. В этом проявляется (в который раз!) отличительное свойство жизни как самоорганизующейся системы: создается преграда губельному ультрафиолетовому излучению Солнца. Так была обеспечена вторая необходимая предпосылка выхода жизни на сушу.

В кембрийский и ордовикский периоды растения, как и животные, все еще находились в море. Среди них встречались прикрепленные ко дну зеленые и бурые водоросли, а верхний слой воды изобиловал цианеями, золотистыми, эвгленовыми и другими водорослями.

Третья предпосылка выхода растений на сушу связана с переустройством их структуры и физиологии. Для этого переустройства было достаточно времени, в течение которого естественный отбор мог испробовать миллионы вариантов, пока не выбрал самый перспективный.

В середине, и особенно в конце, силурийского периода значительная часть земной коры испытала смятие. В результате этого из океана рождаются новые горы – каледонские. Воздымание гор сокращает площадь морских бассейнов и создает условия для образования обширных заболоченных и озерных обла-

стей. Так сама Земля «готовит» подходящий рельеф к приему «гостей».

Природа нежно меня встречает, прижимая к своей груди.

Это спонтанно вырвавшееся поэтическое выражение Гёте из его стихотворения «У озера» может без всякой натяжки служить убедительным выражением первых шагов наземной растительности на суше, с «открытыми объятиями» встреченной обновленной Землей.

До недавнего времени считалось, что первыми наземными (скорее земноводными амфибийными) растениями были так называемые псилофиты, которые связаны своей родословной с зелеными водорослями. Они появились на прибрежных влажных равнинах в силурийский период. Однако псилофитовая растительность имела более примитивных предшественников из группы так называемых нематофитов, которые занимают промежуточное положение в систематике между типичными водорослями и кормусными (высшими) растениями. Родословно они были связаны с бурными водорослями. Окаменевшие остатки нематофитов возрастом около 420 млн. лет известны из позднесилурийских отложений: это стебельчатые растения высотой более 2 м, с шириной разветвленной части кроны до 2 м. Древнейшие представители этой группы появились, вероятно, еще в кембрии, а может быть, даже в протерозое. Достоверные ископаемые остатки нематофитов в осадках старше силурийских не обнаружены, но споры, найденные в верхнепротерозойских кембрийских и ордовикских породах, вероятно, принадлежат нематофитам.

Нематофитная флора, по-видимому, процветала в позднем протерозое и раннем палеозое. Она была очень влаголюбива и росла у самого морского берега, а также по берегам лагун, болот и озер. Эти растения совершили первый «прорыв» на сушу еще в протерозое и продолжали существовать до позднедевонской эпохи. В позднем силуре они уступают место более совершенным кормусным псилофитовым растениям.

Псилофитовая флора включает близ-

кие к талофитам кормусные растения позднего силура и девона. Это своеобразные споровые растения, отчасти напоминающие плауны. Считается, что псилофиты ведут свою родословную от зеленых водорослей. Можно предположить, что зеленые водоросли постепенно расселялись из моря по побережью в устьях рек, в озерах и болотах. Новые условия (мелководные, часто пересыхающие бассейны, вода с пониженной соленостью, переходящая в пресную речную и озерную, и др.) вызывают необходимость значительных изменений в строении. Первый шаг в этом направлении был продиктован «жизненным опытом» в условиях временно пересыхающих водоемов. У псилофитов развилась покровная ткань, сходная с кожей и предохраняющая их от высыхания. Вместе с тем покровная ткань закрывает растение и создает возможность поглощения воды путем диффузии. Этому способствуют и физические свойства воды: высокое поверхностное натяжение, капиллярные свойства и т. п.

В водоемах растения адсорбировали воду всей поверхностью тела. Вне водоема становится необходимым образование примитивных органов со специализированными функциями. Отдельные нитевидные отростки служили для прикрепления к почве, а также для поглощения из нее воды и минеральных веществ. Постепенно с образованием первого подобия корней, стебля и примитивной проводящей системы псилофиты отделились от мягких водорослей. Древнейшие представители этих растений – *Psilophyton* и *Baragwanathia* – известны из позднего силура и раннего девона (430–400 млн. лет назад). Эти растения совершают решительный шаг в завоевании суши. Образно говоря, это был второй вслед за нематофитами, но решающий эшелон десанта на сушу. Совершен новый революционный шаг в эволюции, который открывал неизведанные перспективы для географической экспансии растительности на безжизненных до этого континентах.

Вслед за первым успешным шагом следуют новые: выделяются типичные

папоротниками, хвощами, плаунами и некоторыми примитивными группами голосеменных.

Самой своеобразной и широко распространенной группой в каменноугольный период были так называемые лепидофиты — вымершая группа плаунов. В отличие от современных плаунов, мелких травянистых растений, лепидофиты были древесными формами высотой 30–40 м и диаметром 1–2 м. Наиболее характерными представителями этой группы были лепидодендроны и сигиллярии. Часто встречающиеся горизонтальные корневые ответвления лепидофитов называют стигмариумами.

Важной группой каменноугольной растительности были папоротники, также представленные древовидными формами, часто с красивыми перистыми листьями. Наибольшую известность получили представители родов *Pecopteris*, *Neuropteris* и *Sphaenopteris*.

Третья, широко распространенная группа наземной каменноугольной флоры споровых растений представлена каламитами и клинолистниками — древовидными формами, родственными современным хвощам.

Голосеменные растения этого периода представлены так называемыми семенными папоротниками (птеридоспермами) и кордаитами — крупными древовидными растениями с красивой верхней частью листа.

В начале каменноугольного периода растительность была довольно однообразна. Однако уже в середине периода Земля была покрыта зеленой фатой разнообразно пышной и разнообразной растительности. К этому времени очерчиваются границы первых флористических (фитогеографических) областей. Они характеризуются определенным географическим распределением отдельных растительных групп в зависимости от климатических зон. Согласно представлениям советского палеоботаника А. Н. Криштофовича, в середине каменноугольного периода обособливаются три флористические области: северная (Тунгусская), средняя (Вестфальская) и южная (Гондванская).

Особенно характерна Вестфальская область. Она охватывала Северную Америку, Южную и Центральную Европу, Южную и Центральную Азию и отличалась теплым влажным климатом. Типичными ее представителями были лепидодендроны, древовидные папоротники, птеридоспермы и крупные каламиты.

Тунгусская область включала северные части Европы и Азии. Здесь преобладали кордаиты. В позднекаменноугольную эпоху эту область покрывала так называемая кордаитовая тайга.

Гондванская флористическая область в средне- и позднекаменноугольную эпоху охватывала Южную Америку, Африку, Индию и Австралию. Особенно своеобразный облик растительность этой области приобретает в позднекаменноугольную эпоху: преобладают травянистые формы, отсутствуют гигантские лепидодендроны, древовидные папоротники и другие представители вестфальской флоры. Очень широко развиты кордаиты и некоторые специфичные для этой области растения, среди которых известен папоротник *Glossopteris*. По названию этого рода южная (Гондванская) область именуется глоссоптерисовой.

Значительный интерес представляет так называемый биполярный характер растительной зональности. На него указывает массовое распространение кордаитов в двух приполярных областях — Тунгусской и Гондванской. Эта особенность в распространении растений и животных обнаруживается и в более поздние геологические эпохи.

В среднем карбоне возникают две большие группы голосеменных растений: цикадовые и хвойные. Последние достигают расцвета в конце юрского периода. Многие их представители существуют и сейчас, занимая значительное место в современном растительном мире.

В пермский период облик континентальной растительности значительно меняется. Вымирают лепидодендроны, сигиллярии, каламиты и многие папоротники. На смену им приходят голосеменные: хвойные, цикадовые и гинковые. Эти изменения особенно сильно ощу-

шаются в средней (Вестфальской) палеофлористической области. В результате этих перемен растительность пермского периода становится более однообразной, а общий облик континентов – более печальным. Жизнь переживает первый большой кризис.

Континентальная растительность в триасовый период очень однообразна. Исчезают известные в предыдущие эпохи различия палеофлористических областей. Для мезозойской эры характерна однотипная флора, представленная голосеменными растениями: хвойными, гинквыми и цикадовыми. Широкое развитие получает группа водорослей, выделяющих карбонатное вещество.

Новый решительный шаг эволюция растительного мира делает в юрском периоде. Появляются первые покрытосеменные растения. Естественный отбор дал этим растениям огромные преимущества, которые позволили им завоевать и самые недоступные участки суши. Эти преимущества быстро отражаются в эволюции. Особенно показательно, что к середине мелового периода, т. е. 100 млн. лет назад, 90% видов наземных растений, известных в ископаемом состоянии, представлены покрытосеменными. Сегодня они составляют 95% всех существующих растений.

Особенно характерно для покрытосеменных то, что они повсеместно, за исключением тропических областей, являются листопадными. После созревания семян листва опадает, фотосинтез задерживается и растения на несколько месяцев прекращают свой рост. Ряд специалистов объясняют это явление приспособлением покрытосеменных к сезонным изменениям климата. Сезонность климата устанавливается к концу юрского периода, что совпадает со временем появления таких растений.

Покрытосеменные становятся все разнообразнее, и к концу мелового периода внутри этой группы происходят значительные изменения. Они продолжают и в течение значительной части кайнозойской эры. Эти изменения приводят к развитию так называемых злаковых. Злаки представляют собой само-

стоятельную группу покрытосеменных, приспособленную к существованию в сухом или сезонно-засушливом климате. Родиной травянистых злаков являются сухие равнины и степи, называемые саваннами. Саванная (ливадная) растительность широко распространяется в кайнозойскую эру. Это, вероятно, связано с аридизацией климата.

Питательные, легко перевариваемые стебли, листья и семена травянистых злаков становятся идеальной пищей для быстро развивающейся группы млекопитающих.

Зерновые растения – особый вид злаковых, у которых концентрация питательных веществ значительно повышена. Человечество открыло питательную ценность зерновых растений около 10 тыс. лет назад.

Мы попытались бросить беглый взгляд на историю растительного мира. Его представители вышли в авангард эволюции. Они обеспечили существование свободного кислорода в атмосфере и сделали первый шаг на сушу, они изменяются медленно по сравнению с животными, но изменения растительности отражаются и на животных. Основные узловые моменты в эволюции растительного царства в течение фанерозоя следующие:

1. Первые шаги на суше – появление наземных растений в силурийский период.
2. Появление семенных (голосеменных) растений в позднедевонскую эпоху.
3. Появление покрытосеменных (цветковых, плодовых) растений в конце юрского периода.
4. Появление злаковой растительности в конце мелового периода, которая в кайнозойскую эру достигает расцвета. Обособляется и группа зерновых растений.

Рассматривая основные черты огромного разнообразия растительного мира, мы совершенно не упоминали о животных. Каждый знает, что самый красивый лес, самая зеленая поляна выглядят уныло, если их тишина не нарушается шорохами бесчисленных живых су-

ществ. С момента своего появления животные живут в тесном взаимодействии с растениями. Вероятно, когда растения совершали свой десант на сушу, за их первыми шагами «наблюдали» первые

животные, дышащие воздухом. Это были силурийские паукообразные, которые являлись первыми представителями животного мира на суше. Но не будем забегать вперед.

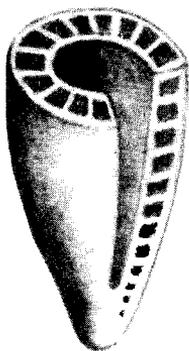


РАСЦВЕТ МОРСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

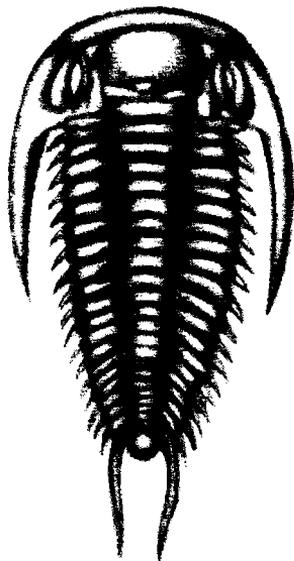
Море без рыбы! Сегодня мы не можем себе этого представить, но в начале палеозойской эры все моря были такими. Уже в кембрии они стали колыбелью почти всех типов животных, кроме хордовых. Темп эволюции нарастает. Беспозвоночные быстро обзаводятся скелетом или панцирем. Особенное распространение получают животные с хитиново-фосфатным панцирем. Второе место занимают формы с известковым скелетом или раковиной. Степень развития беспозвоночных достаточно высока. Облик кембрийской морской фауны определяется членистоногими: около 60% составляли трилобиты, около 30% — плеченогие

(брахиоподы) и только 10% — представители остальных типов. Очень характерна для кембрия своеобразная группа археоциат, которая целиком вымирает к концу периода. По своему внешнему виду они напоминали губок. Существовали и собственно губки, а также кишечнополостные, черви, иглокожие, моллюски и др. Большинство типов беспозвоночных были представлены по принципу «от каждого понемножку», за исключением трилобитов, которые переживают в это время расцвет. Таким образом, кембрийская фауна была довольно однообразна. В ней отсутствовали многие отряды и классы беспозвоночных, которые по-

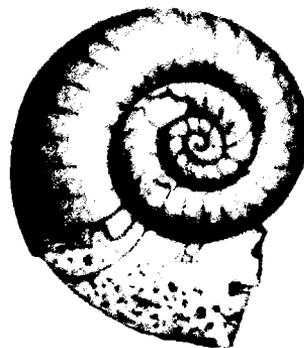
А



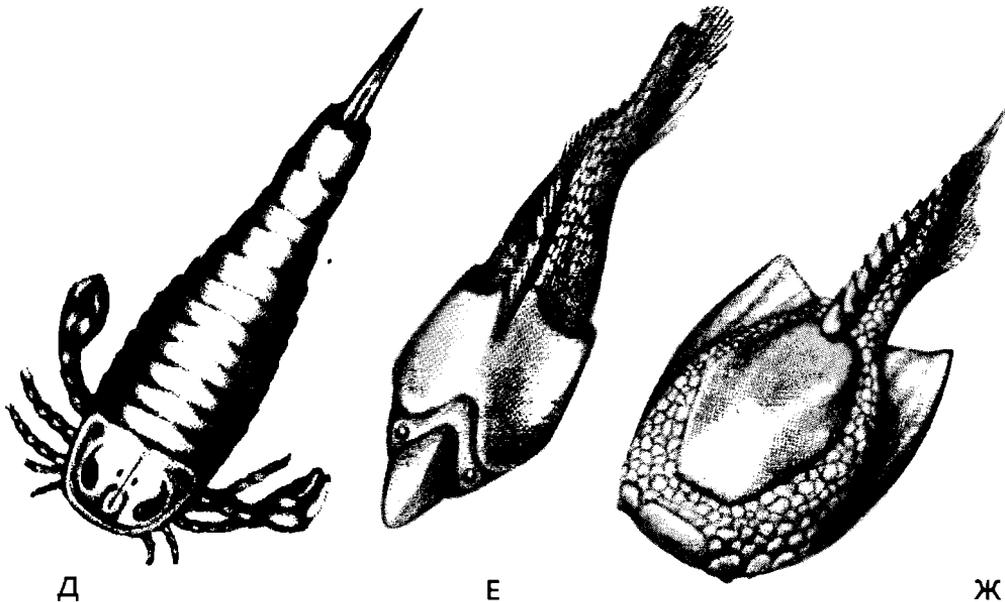
Б



В



Г



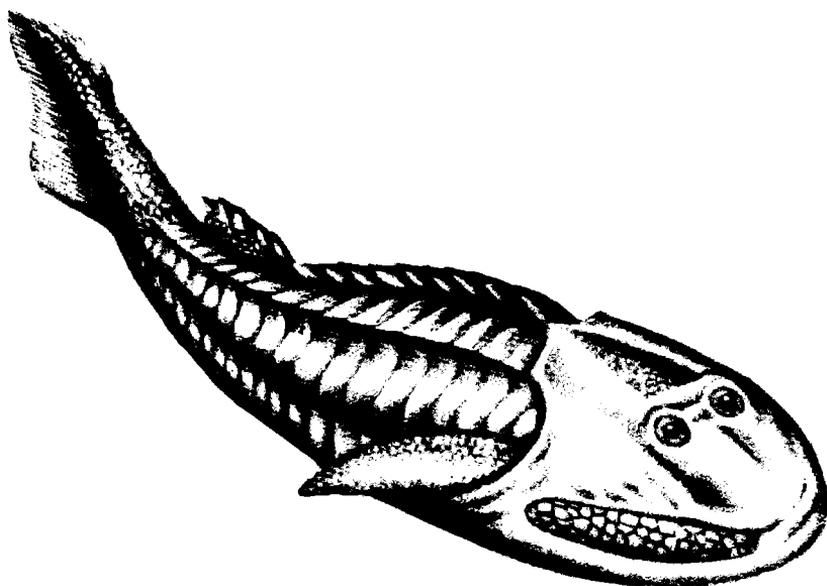
Д

Е

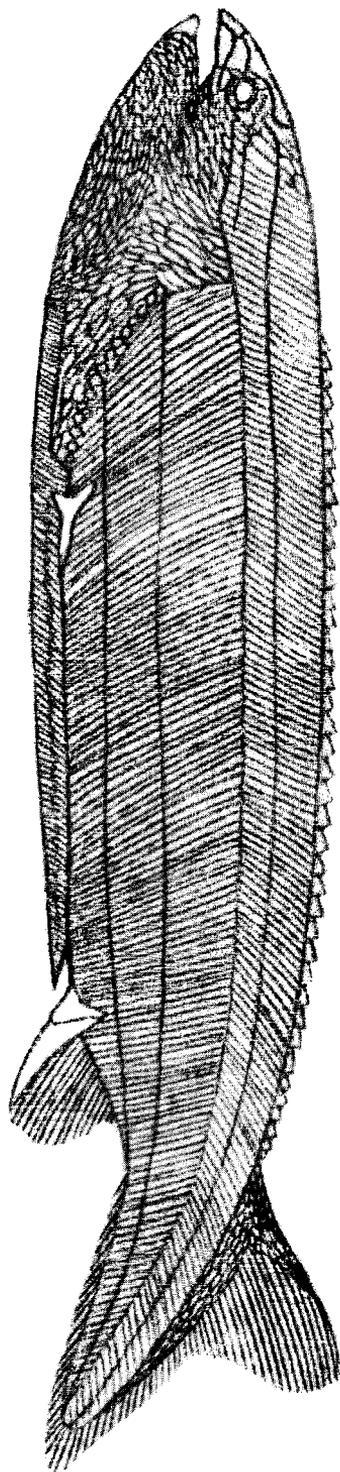
Ж

Характерные представители кембрия, ордовика и силура (по разным авторам из работы Яблокова и Юсуфова, 1976). А — археоциаты; Б — трилобит; В — коралл; Г — головоногий моллюск;

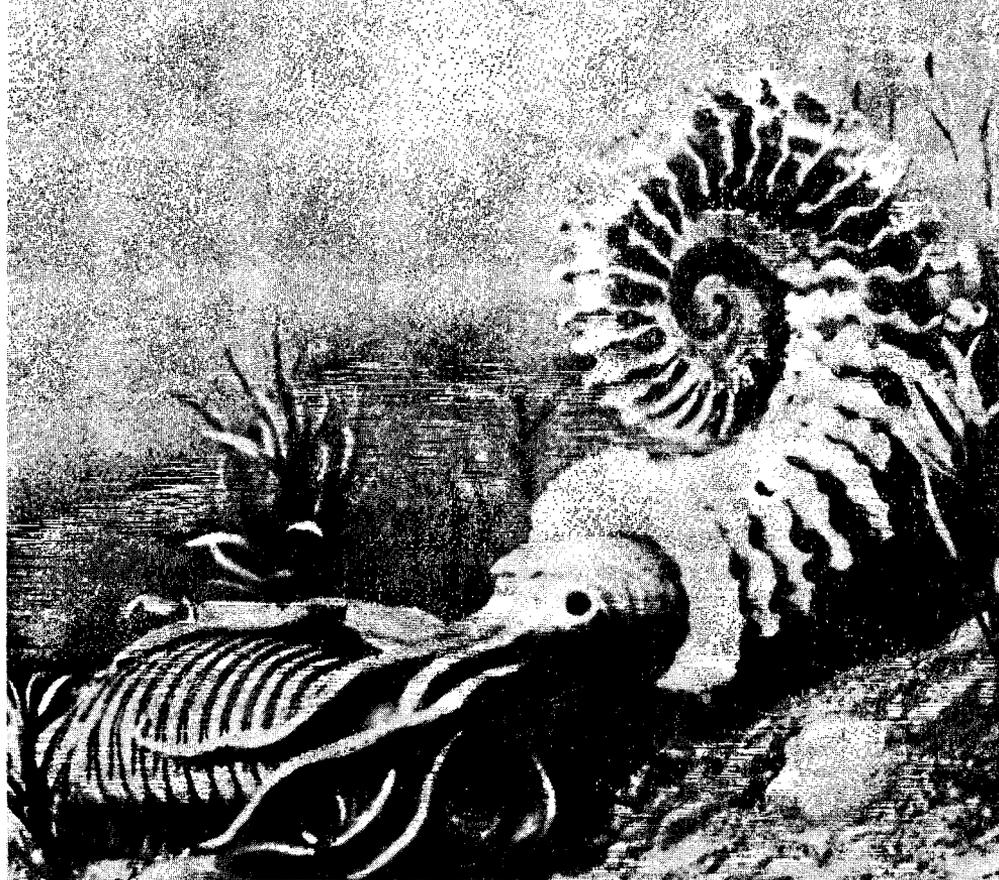
Д — ракоскорпион; Е — древнейшие позвоночные; бесчелюстные и панцирные рыбы



3



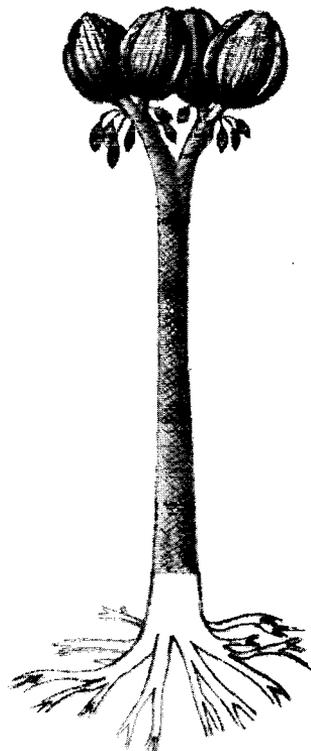
Примитивная рыба из верхнего силура Норвегии



*Жизнь в девонском море (ре-
ставрация из музея в штате
Нью-Йорк). В центре – голо-
воногий моллюск атакует
трилобита*



А



Б

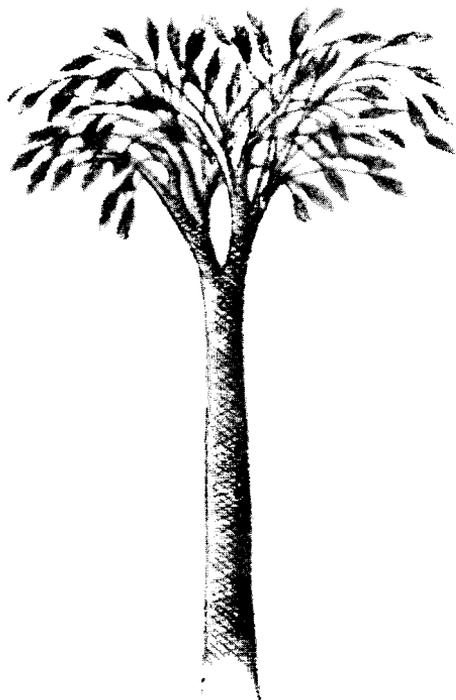
являются в следующем, ордовикском, периоде.

После кембрия эволюция беспозвоночных животных характеризуется специализацией и усовершенствованием основных типов. Во всех типах обогащается систематический состав. В течение ордовика среди иглокожих к морским звездам, морским лилиям и голотуриям (морские огурцы) добавляется класс морских ежей, который с нарастающим разнообразием развивается до настоящего времени. Появляются первые головоногие моллюски. Широкое развитие получают представители одной из интереснейших групп — граптолитов. Систематическое положение граптолитов долгое время оставалось спорным. Благодаря исследованиям польского палеонтолога Р. Козловского в скелете граптолитов

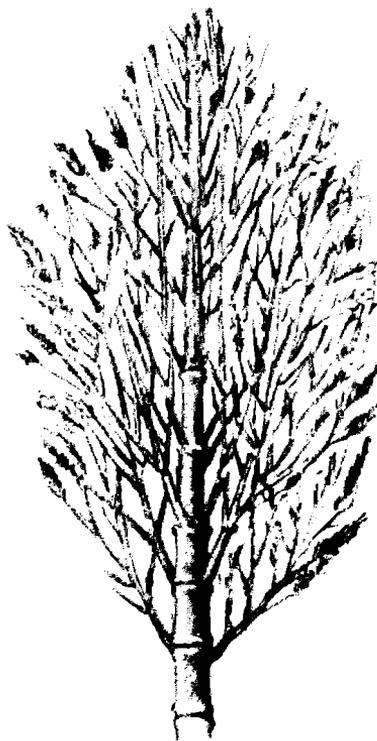
были обнаружены образования, которые, по-видимому, соответствуют спинной струне хордовых животных, что дает основание включать эту вымершую древнепалеозойскую группу в состав полухордовых — переходный тип от беспозвоночных животных к позвоночным.

Важнейшим событием в эволюции животного мира в ордовике было появление первых позвоночных. Но об этом позже.

В силурийский период преобладающая часть животных обитала в морях и только немногие — в пресных водах на суше. В этот период развиваются гигантские ракоскорпионы, которые достигали 2 м в длину. Их первые представители известны еще в кембрии, в силуре же они получают массовое развитие и встречаются также в более поздние периоды.



В



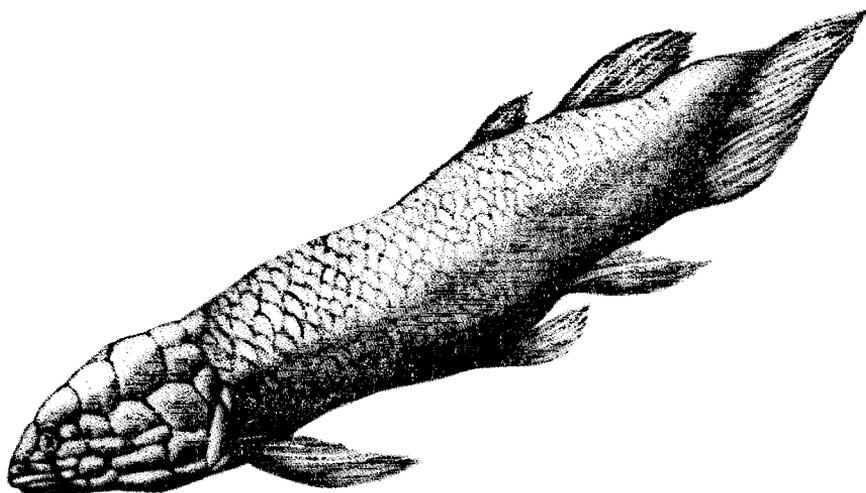
Г

Палеозойские растения. А – кордаит; Б – сигиллярия; В – лепидодендрон; Г – каламит (по разным авторам из работы Тимофеева-Ресовского и др., 1969)

Вероятно, ракоскорпионы начали быстро вытеснять трилобитов и плеченогих. В конце палеозоя почти вся группа ракоскорпионов вымирает. Единственная форма, родственная им и дожившая до настоящего времени, — это мечехвост.

В силуре появляются первые беспозвоночные, приспособившиеся к дыханию. Это паукообразные животные, близкие по строению к современным скорпионам. Они стали первыми посланцами животных, которые ступили на сушу почти одновременно с псилофитовыми растениями. С силурийского периода известны и первые многоножки.

В теплых мелководных морях девонского периода жили многочисленные кораллы, губки, разнообразные иглокожие, моллюски — особенно широко были рас-

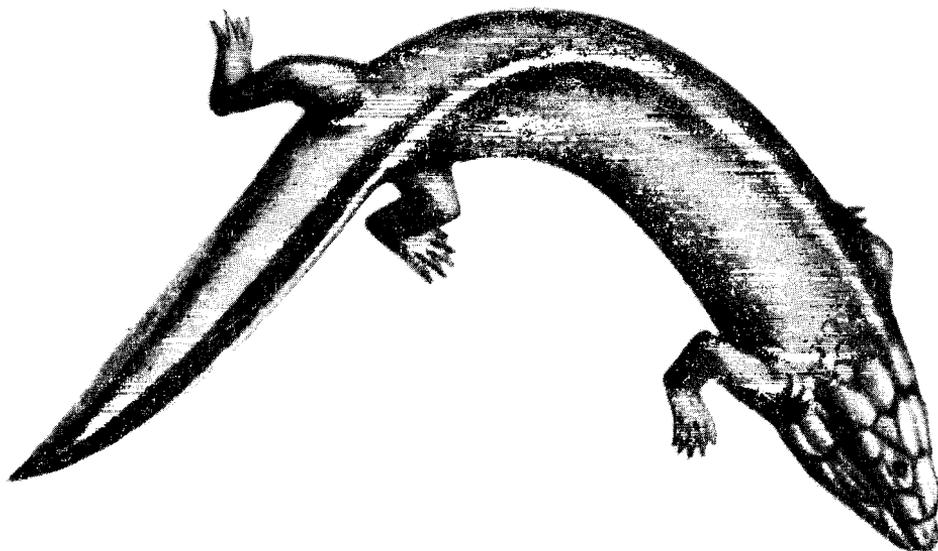


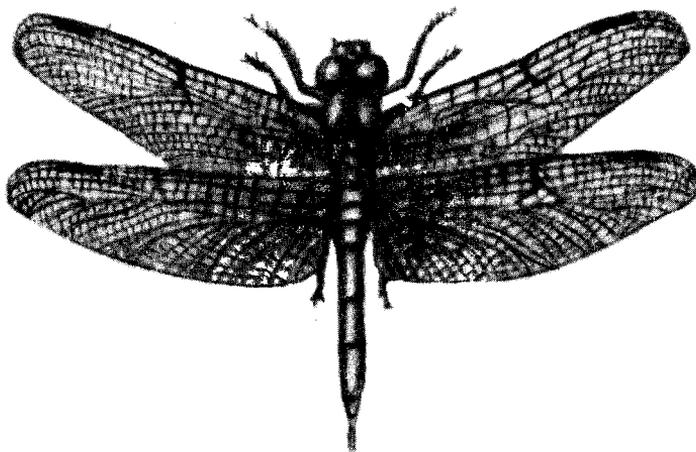
А

пространены головоногие моллюски, родственники современных осьминогов и кальмаров, плеченогие, скорпионы, примитивные насекомые. Уменьшается разнообразие граптолитов и трилобитов, которые приходят в упадок. Для этого периода характерен удивительный кон-

траст в развитии органического мира. В девоне по сравнению с силурийским периодом морская фауна более однообразна, тогда как мир организмов девонских континентов намного богаче, чем почти безжизненная силурийская суша. В девонский период жизнь совершает второй

Б





В

Характерные представители фауны девона, карбона и перми (по разным авторам из работы Яблокова и Юсуфова, 1976). А – двоякодышащая рыба; Б – древнейшее земноводное (стегоцефал); В – насекомое;

десант на сушу – животные выходят из моря.

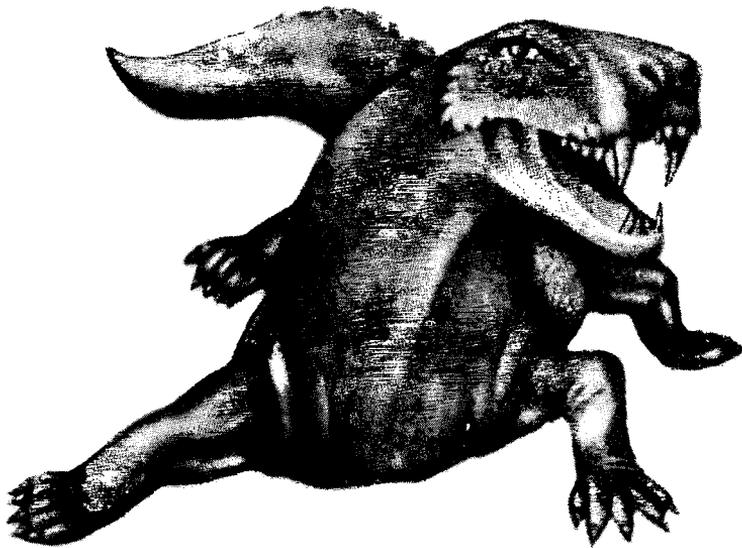
Морские бассейны каменноугольного и пермского периодов изобиловали представителями простейших (протозоя). Их первые представители известны с протерозоя, но лишь в девоне и особенно в карбоне их остатки становятся особенно многочисленными. Это связано с приобретением ими способности строить известковую раковину. Для карбона особенно характерны крупные фораминиферы со спирально завитой раковинной (фузулины и швагерины). Они часто образуют огромные скопления и слагают мощные известковые пласты.

Позднепалеозойские каменноугольные и пермские бассейны были населены четырехлучевыми кораллами и кораллами-табулятами, плеченогими, иглокожими, головоногими. Большого

развития достигают насекомые. В то время это были единственные летающие животные, размах крыльев которых достигал 70 см (стрекозы карбона).

Мезозойская и кайнозойская история беспозвоночных характеризуется все возрастающим расцветом этого царства. На место многих групп, которые вымирают в конце палеозойской эры, приходят новые группы. Огромного развития достигают аммониты – головоногие моллюски, родственные современным наутилусам, кальмарам, осьминогам и сепиям. Их мягкое тело было заключено в известковую, чаще всего спирально закрученную раковину, которая прекрасно защищала моллюска. Увеличение разнообразия наблюдается и среди других моллюсков – двустворок и улиток, которые в кайнозой стали занимать господствующее положение среди беспозвоночных.

Начиная с девонского периода беспозвоночные все шире расселяются не только в морях, но и в континентальных бассейнах (реках, озерах, болотах) и на суше. Все это способствует их постоянному обновлению, и в этом причина огромного богатства современного мира беспозвоночных животных.



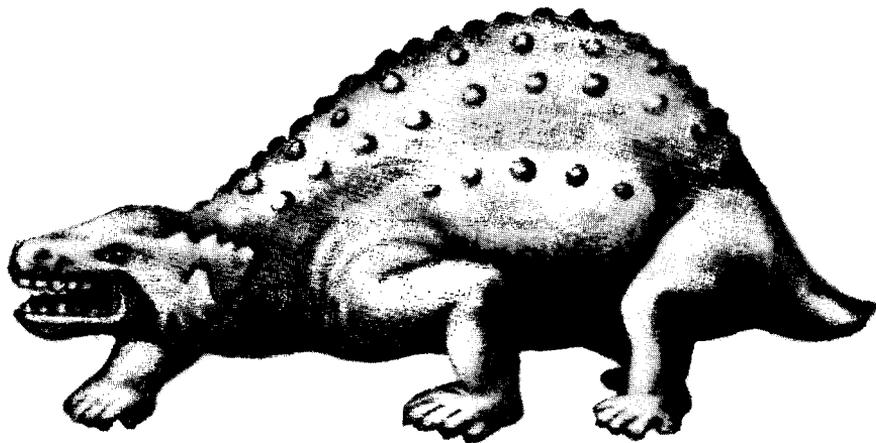
Г

В протерозое к началу зарождения беспозвоночных животных Земля была населена только водорослями, занимавшими приливо-отливную зону океана. Подводный мир самих океанов был очень далек от сегодняшнего, пленитель-

ного и невообразимо разнообразного мира, населенного миллиардами существ,—мира молчания, которое так много и ярко говорит о неисчерпаемости созидательных сил биологической эволюции.

Д





Е

Характерные представители фауны девона, карбона и перми (по разным авторам из работы Яблокова и Юсуфова, 1976).

Г-Ж - древнейшие пресмыкающиеся (по разным авторам из работы Тимофеева-Ресовского и др., 1968)

Ж





ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ РЫБ

Предполагается, что первые позвоночные животные возникли в мелководных бассейнах. Корни позвоночных следует искать в далеком кембрийском периоде. Вероятно, тогда существовало животное, которое дало начало родословной позвоночных, в первую очередь рыбам, заложившим основы царства позвоночных животных.

Как выглядел наш далекий предок? Трудно ответить на этот вопрос. Ряд ученых считают, что родословная позвоночных начинается с кольчатых червей (аннелид), другие полагают, что предками были некоторые представители членистоногих (ракообразные, паукообразные). Судя по общему плану строения рыбообразных и по биохимическим данным, наиболее вероятная прародительская форма позвоночных была близка к древнейшим представителям иглокожих. Такое допущение основано на сходстве личиночных стадий иглокожих и примитивных позвоночных и на особенностях строения древнейших предков современных морских ежей и морских звезд. Предковые формы имели удлиненное мягкое тело без плавников и скелета, без обособленной головы, рот без челюстей, способный поглощать пищу путем всасывания. Над удлиненным пищеводом была развита мягкая струна, покрытая упругой оболочкой. Это предшественник спинной хорды (*horda dorsalis*), характерной для типа хордовых животных, которая в подтипе позвоночных заменяется позвонками осевого скелета.

Первые неясные остатки рыбообразных обнаружены в ордовике в виде изолированных костных пластинок. Хорошо сохранившиеся ископаемые рыбообразные известны из следующей, силурийской, системы. Эти древние животные не имели челюстей и плавников, были покрыты костными чешуйками, образующими панцирь. Поэтому они названы костно-щитковыми (остракодермы). Один известный ученый сказал, что эти создания были «истинной карика-

турой на рыбу». Однако к оценке эволюции не следует подходить только с эмоциональной и антропоцентрической точек зрения. Если заглянуть в отдаленное прошлое, то окажется, что все мы были зачаты в среде ядовитых газов, возможно даже среди тины и смрада первичной Земли, да и наши милые предки из недалекого прошлого – человекообразные обезьяны – не первые красавцы на свете. Этих мелких бесчелюстных костно-щитковых рыбообразных можно оценивать и с другой точки зрения – они были прародителями позвоночных животных. Никто в мире не может выбрать себе родителей. Важно, чтобы родители открывали перспективы перед потомками. А первые рыбообразные, хотя и уродливые, заложили основы строения скелета позвоночных, впервые приобрели костный череп и отчетливую двустороннюю симметрию, сделали первый шаг к цефализации – сосредоточению нервных центров в передней части тела.

Остатки первых бесчелюстных находят в речных и озерных отложениях. Вероятно, это указывает на переселение примитивных рыбообразных из морей в озера и реки вслед за водорослями. Костно-щитковые бесчелюстные существовали на Земле около 100 млн. лет. Они имели только два зачаточных плавника, передвигались медленно, извлекали пищу, всасывая и процеживая илистые осадки на дне. Их дальними родственниками являются ныне живущие миноги и ланцетники.

Удивительно, что эти медлительные существа без настоящих плавников устояли в борьбе за существование с гигантскими ракоскорпионами. Вероятно, одним из их больших преимуществ кроме панциря было развитие внутреннего осевого скелета. Сами панцирные бесчелюстные не имели больших перспектив на будущее, но в их биологической структуре были заложены основные черты более прогрессивной анатомической организации.

В течение первых 100 млн. лет после своего появления рыбы претерпевают сложные и важные изменения, которые отмечают новые узловые моменты эволюции.

Первое важное событие связано с появлением челюстей, которые развиваются за счет передних жаберных дуг. Первые челюстноротые рыбы появляются в конце силура, что совпадает с другим великим событием эволюции – выходом на сушу псилофитовых растений. В течение следующего, девонского, периода пути этих двух групп организмов переплетаются: потомки первых наземных растений строят леса на Земле, а потомки рыб, выйдя на сушу, начинают использовать эти леса. Эволюция приобретает новые волнующие и драматические черты.

Образование челюстей дало огромные преимущества новым группам рыб – плакодермам (пластинокожим), названным так из-за особого строения панциря. Вместе с появлением челюстей развивается и соответствующая мускулатура, которая обеспечивает движение головы, открывание и закрывание рта.

Следующим важным событием в эволюции рыб было появление парных плавников. Как челюсти, так и парные плавники – приспособительные органы. Грудные и брюшные парные плавники быстро делают рыб первоклассными пловцами, и они становятся властелинами палеозойских морей.

Кроме бесчелюстных и плакодерм в силуре зарождается еще один класс рыб – так называемые акантоды. Их строение хорошо иллюстрирует то, каким образом возникли челюсти и парные плавники. Последние развились из кожных складок между шипами и телом. Интересно, что только силурийские и девонские акантоды имеют шипы, тогда как их потомки в карбоне и перми (костные гаиноидные рыбы) утратили шипы, но развили плавники. Последние быстро стали рулем и тормозом морских властелинов. Жаберные дуги, постепенно окостеневая, дают начало челюстям.

Путь от древних костно-щитковых до быстроходных шук и скумбрий был до-

лог, но привел к эффективному усовершенствованию скелета и плавников. Пластинки панциря заменяются плоскими чешуйками, которые становятся все эластичнее и тоньше. Тяжелый череп древних рыб заменяется легким компактным черепом.

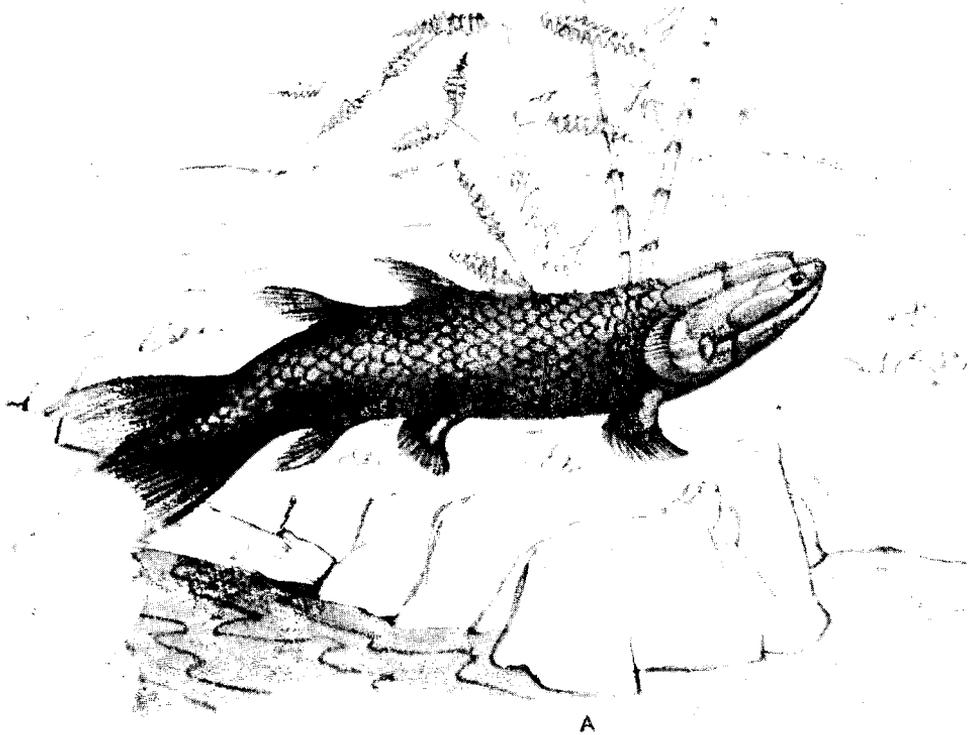
Девонский период обоснованно называют периодом рыб. Одним из замечательнейших представителей девонских рыб был род *Denichtis* («ужасная рыба») длиной до 9 м. Это было страшилище девонских морей.

В течение девона рыбы разделяются на две основные группы. У одной в дальнейшем развивается хрящевой скелет, у другой – костный. Вероятно, это разделение было связано с различиями в образе жизни и условиях среды обитания в девонских бассейнах. Две группы разным образом решают жизненные проблемы, но решение, найденное костными рыбами, оказалось более перспективным. Костные рыбы демонстрируют постоянно нарастающее разнообразие, и в течение последних 180 млн. лет они являются главными представителями позвоночных в океане. Хрящевые рыбы постепенно после палеозойской эры приходят в упадок, и в наше время они представлены акулами, скатами и глубоководными химерами.

Современные акулы ведут свое начало с позднеюрской эпохи (около 150 млн. лет назад). С того времени и до сегодняшнего дня они мало изменились. К ним принадлежит самая крупная рыба океана – китовая акула, которая достигает 18 м в длину. Ее предшественники известны еще с девона.

Современные скаты появляются в меловом периоде как ответвления от ствола акул, а другие хрящевые рыбы – химеры – известны с триасового периода. Эти обитатели морских глубин – наследники палеозойских химеровых и древних скатов – брадиодонтов.

Костные рыбы – господствующий класс рыб в современных бассейнах. Они являются и самой жизнеспособной группой в надклассе рыб. По строению плавников этот класс разделяется на лучеперых, имеющих веерообразные плавни-



ки, и кистеперых – с более компактными плавниками, похожими на кисть.

Ни одна группа позвоночных животных не смогла превзойти лучеперых костных рыб по разнообразию и распространности. В настоящее время эта группа включает больше видов, чем все остальные позвоночные, вместе взятые. Несмотря на это, честь определить новое направление эволюции выпала не лучеперым, а древним кистеперым рыбам. После палеозоя они пришли в упадок, а в настоящее время почти исчезли. Но девон был временем их расцвета.

Кистеперые рыбы разделяются на две группы: двоякодышащие (Dipnoi) и рипидистиевые (Rhipidistia).

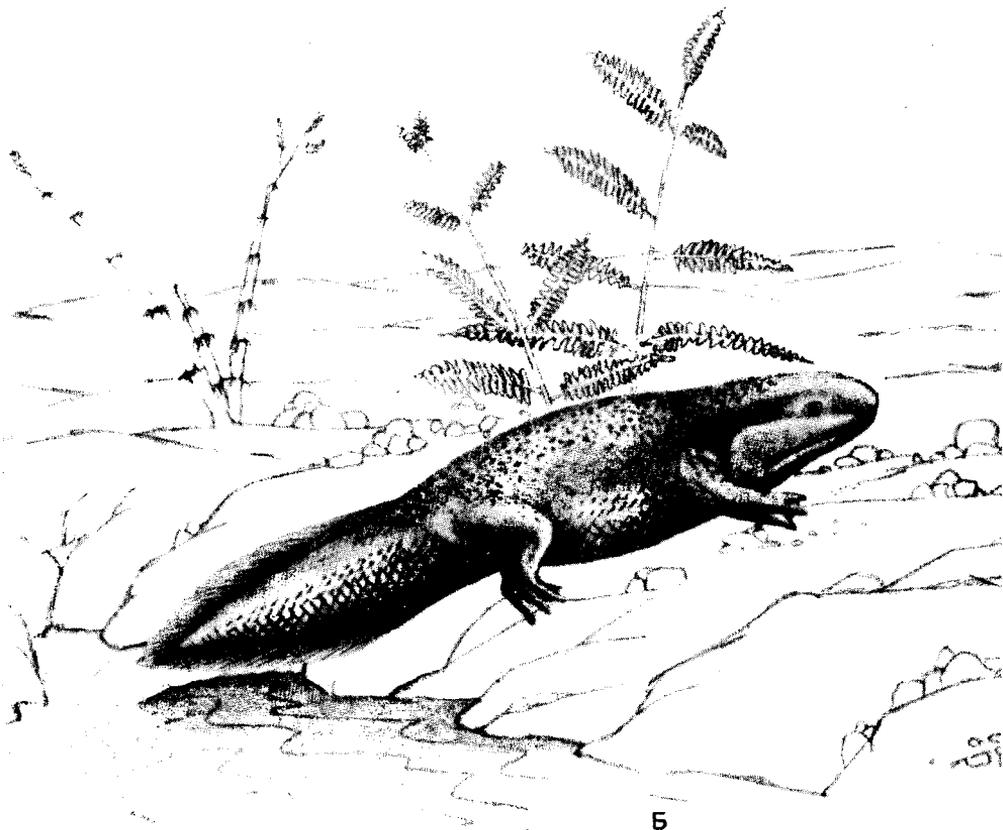
Двоякодышащие рыбы делают первые попытки приспособиться к жизни на суше. У них развивается легочное дыхание. Легкие играют спасительную роль в двух случаях: 1) когда количество кис-

Этапы перехода от рыб к земноводным (по Флинту, 1978). А – девонская кистеперая рыба с примитивными легкими; Б – девонское земноводное (Ichtiostega). Пальцы на конечностях соединены перепонкой, как плавники

лорода в воде уменьшается при отступании моря и образуются мелкие заболоченные водоемы и 2) когда бассейн пересыхает и рыбам требуется приспособиться к жизни на суше, чаще всего в тине.

Однако, как часто случается в эволюции, эта первая попытка рыб проторить новые пути развития оказалась неперспективной. Одного только легочного дыхания было недостаточно для завоевания суши.

Рипидистии обладали вторым необходимым для завоевания суши элемен-



Б

том — таким устройством плавников, которое позволяло передвижение по земле. Эти рыбы приобрели и способность дышать воздухом, и способность передвигаться с помощью сильных плавников по пересыхающим озерам туда, где еще сохранилась животворная вода.

В конце палеозойской эры рипидистии быстро вымирают. Остается небольшая группа их потомков — целекантов, которые, как считалось до недавнего времени, исчезли в конце мелового периода.

В 1938 г. в теплый декабрьский день один рыболовный траулер доставил в музей Ист-Лондона (Южная Африка) редкую рыбу длиной 1,5 м и весом 50 кг. Сотрудница музея Куртене Латимер сразу же определила, что это какая-то неизвестная и необычная рыба. Позднее профессор Дж. Смит отнес эту рыбу к целекантам и назвал ее «латимерия» (*Lati-*

meria) в честь мисс Куртене Латимер. Это открытие стало сенсацией, потому что обнаруженная рыба оказалась в буквальном смысле слова посланцем далекой геологической эпохи. В этой удивительной рыбе люди увидели черты далеких предшественников наземных позвоночных. Она на 200 млн. лет старше динозавров и появилась 300 млн. лет назад. В отличие от других живых потомков древних рыб целеканты мало изменились за эти 300 млн. лет. Некоторые ученые не без основания воскликнули: «Вот машина времени для путешествия в прошлое». А другие озаглавили серьезный и научный труд «От рыб до философа» (Х. У. Смит, 1953).

Строение сердца и гипофиза целекантов оказалось весьма примитивным. В этом нашли свое подтверждение предположения ученых о строении этих органов у самых ранних позвоночных. Дальней-

шие исследования современных двоякодышащих и целекантов рода *Latimeria* (к 1975 г. у побережья Юго-Восточной Африки было выловлено и изучено около 70 экземпляров целекантов) подтвердили также и представления об эволюционном переходе плавников в конечности.

Эволюция рыб полна поразительных примеров широкого расселения в самых разнообразных экологических условиях. Рыбы демонстрируют нам головоломное разнообразие форм, которое вызывает естественное изумление человека перед творениями эволюции.



ВТОРОЙ ДЕСАНТ НА СУШУ

История органического мира демонстрирует одну замечательную особенность: завоевание новой среды, новой области обитания с доселе неизвестными условиями всегда становилось переломным моментом в эволюции. Это создавало условия быстрого подъема организации потомков тех существ, которые «дерзнули» завоевать новую, неизведанную область. Печально лишь, что те, кто совершил первый шаг, вслед за этим быстро уступали место другим. Однако они играли в эволюции историческую роль. Без этого был бы немислим прогресс вообще. Такова судьба псилофитов – вслед за завоеванием суши они вымерли в конце девонского периода, уступив место более совершенно устроенным типичным споровым растениям.

Как уже отмечалось, выход псилофитов на сушу сопровождался появлением древних паукообразных – первых животных, дышавших, вероятно, воздухом. Второй решительный десант животных осуществился довольно «скоро» – примерно через 50 млн. лет вслед за первым десантом растений, в позднедевонскую эпоху. Воздух был уже завоеван насекомыми, а по земле совершали первые шаги кистеперые рыбы – предшественницы земноводных.

Кистеперые рыбы жили в пресноводных бассейнах: озерах, реках, болотах. Специфические условия жизни обусловили приобретение ими таких приспособлений, которые были благоприятны для земноводного образа жизни. Следовательно, строением кистеперых рыб бы-

ли «подготовлены» самые общие черты организации земноводных и других тетрапод (четвероногих), в том числе и человека. От этих рыб унаследованы основные особенности нашего дыхательного аппарата, пятипалое строение конечностей и др. Но происходят ли земноводные от одной группы кистеперых рыб или от двух и более? Сегодня большинство ученых склонны считать, что минимум два подотряда кистеперых рыб дали начало земноводным: от одной группы происходят хвостатые, а от другой – бесхвостые амфибии.

В процессе эволюции плавники кистеперых рыб постепенно приспособились к передвижению по суше. Вероятно, сначала рыбы передвигались прыжками, затем научились ползать и наконец начали ходить. Новый способ передвижения позволил кистеперым рыбам на некоторое время удалиться от воды. Это привело к появления существ с новым образом жизни – земноводных (*Amphibia*). Эти животные размножаются с помощью икры, которую мечут в воду. Из нее рождаются личинки, которые усваивают кислород, растворенный в воде. Личиночная стадия завершается быстрыми изменениями (метаморфозом). Жабры и хвост отпадают, а по бокам появляются конечности. Животное выходит из воды и до конца жизни обитает в прибрежной части суши. В период метания икры они возвращаются в воду. Этот цикл типичен для земноводных, и из-за этой особенности они остаются навсегда связанными с водой.

Первые земноводные известны по ископаемым остаткам из верхнедевонских отложений – это неуклюжие ихтиостеги (*Ichthiostega*). В последующий, каменноугольный, период широкое развитие получили так называемые стегоцефалы (панцирноголовые). Это были примитивные саламандроподобные или змеевидные формы, череп которых был покрыт плотным щитом из кожных костей.

В строении земноводных, которые в процессе эволюции претерпевают ряд изменений, отражаются основные черты анатомии всех четвероногих:

1. Развитие пятипалой конечности. На основе лучевого строения плавников кистеперых рыб земноводные развивают пятипалую конечность. Это произошло путем преобразования костей плавников в конечности и исчезновения перепонки между ними. Пятипалые конечности оказались самыми подходящими для передвижения по неровной поверхности. Земноводные развивают этот тип конечностей и передают его потомству.

2. Развитие шарнирных суставов на конечностях. Движение рыбьих плавников происходит в результате колебаний вперед и назад, осуществляемых эластичными связками. У земноводных возникла необходимость в боковых движениях конечностей, в усилении гибкости плечевого и бедренного суставов. В результате естественного отбора развилось универсальное и совершенное шарнирное сочленение конечностей, которое без

принципиальных изменений дошло до нас.

3. Удлинение конечностей. Выход на сушу привел к постепенному удлинению конечностей у земноводных. Без этого было невозможно совершать эффективное передвижение путем ходьбы. С большим основанием и в буквальном смысле слова можно сказать, что первый шаг по суше был сделан земноводными.

4. Усовершенствование легочного дыхания и образование носоглотки. Это позволило животным дышать с закрытым ртом.

5. Увеличение размеров мозга. Условия на суше были несравнимо более разнообразными, чем условия жизни в воде. Поэтому они требовали более разнообразных и более совершенных реакций со стороны амфибий. Без увеличения мозга животные не смогли бы просуществовать длительное время. Окаменевшие остатки земноводных свидетельствуют о постепенном увеличении черепной коробки.

Основа всех приспособительных органов была заложена кистеперыми рыбами, но роль земноводных в их утверждении и дальнейшем развитии бесспорна.

Земноводные внесли замечательный вклад в эволюцию, но сами они из-за способа размножения не смогли продвинуться вперед. Способ размножения всегда удерживал их близ родной колыбели – воды. Они делают первый решительный шаг на сушу, но ее завоевание совершают их потомки – пресмыкающиеся.



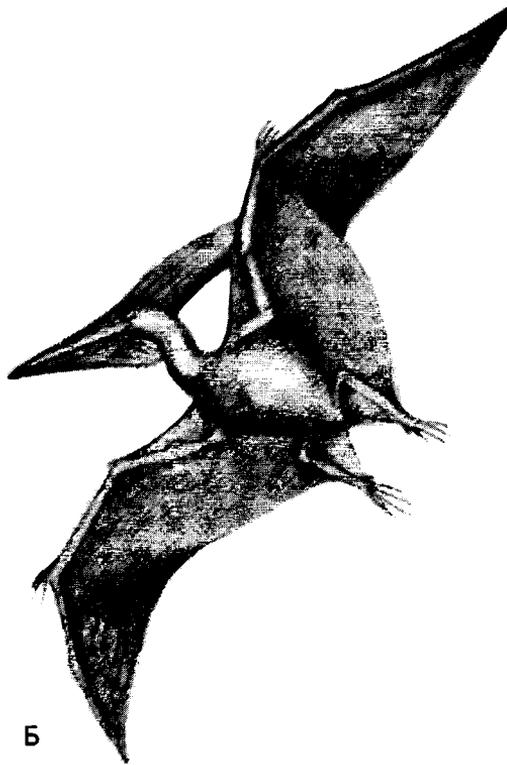
ОТКРЫТИЕ ПРЕСМЫКАЮЩИХСЯ

Наши холоднокровные прародственники – пресмыкающиеся – совершили одно из величайших открытий в эволюции наземных позвоночных: яйцо со скорлупой, названное амниотическим яйцом. Образование такого типа яйца было началом нового поворотного момента в эволюции. Оно было устроено таким образом, что зародыш развивался в

своеобразном миниатюрном «бассейне». Кое-кто вполне обоснованно проводит весьма современное сравнение амниотического яйца с космическим кораблем: обшивка корабля позволяет сохранить постоянной микросреду с необходимыми для жизни космонавтов условиями. Такую же роль играет и скорлупа яйца «новой конструкции». «Обитателем» яйца



А



Б

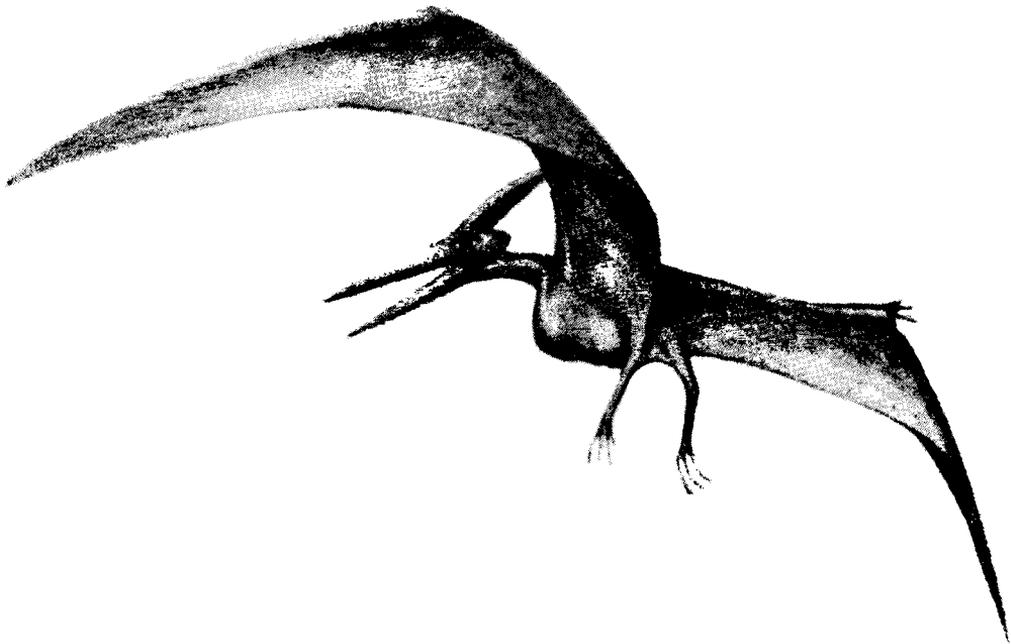
был эмбрион пресмыкающегося. «Новая конструкция» оказалась настолько перспективной, что просуществовала более 300 млн. лет – от конца карбона до наших дней.

Что появилось раньше – яйцо или...? Во всяком случае, не курица, потому что птицы получили яйцо в дар от пресмыкающихся. Но этот вопрос имеет определенный смысл, если его отнести к пресмыкающимся. Некоторые ученые считают, что амниотическое яйцо создали земноводные и этим положили начало родословной пресмыкающихся. В этом предположении есть определенный здравый смысл и большая доля истины, так как именно земноводные являются прародителями пресмыкающихся. Если принять это, то можно дать приблизительное описание перехода от одной группы к другой.

Над бескрайней ширью каменноугольного континента дни напролет с безжалостным усердием греет солнце. От зари до поздней ночи все живое ищет спа-

Характерные представители мезозойских пресмыкающихся. А – летающий хвостатый ящер (ремфоринхус); Б, В – летающие бесхвостые ящеры

сения под сенью болотистых лесов. Даже вечно жужжащие стрекозы замирают; может быть, облако закроет солнце или подует ветер – расшевелит раскаленный воздух. Растения склоняют верхушки, а земноводные затаивают дух перед ужасающей неизвестностью. Но беда никогда не приходит одна. Под непрекращающимся жаром золотого солнца тут и там начинают пересыхать болота. Будто какая-то неведомая рука расширяет желтые пески, и полоса пляжа начинает превращаться в сухую равнину. Недавно возникшим земноводным угрожает гибель. Под розовым светом утренней зари в сохранившейся кое-где воде какая-то амфибия откладывает яйца. Они уцелеют и дадут начало новому подвиду, яйца кото-



В

рого могут и дальше обходиться без воды. Нависшая беда, исходящая от палящего солнца и пересыхающих болот, вынудила земноводных построить еще одну оболочку на яйцах, предохраняющую их от высыхания. Эти амфибии нашли выход не столько для себя, сколько для своих потомков. А тот, кто думает о потомстве, думает о будущем.

Приблизительно в таком наивно-романтическом стиле с драматическими нотами можно было бы охарактеризовать жизненную дилемму земноводных. Они решили ее прекрасно и обозначили тем самым важный этап в эволюции. Конечно, это происходило не в течение нескольких знойных дней, а в течение десятков миллионов драматических лет. Однако яйцо с дополнительной оболочкой – изобретение не земноводных, а пресмыкающихся.

Естественный отбор, несомненно, благоприятствовал сохранению тех индивидов, которые от поколения к поколению откладывали яйца с более плотной

оболочкой, для развития которых была не нужна водная среда. Постепенно внутри яйца развивается система мембран, которые обособляли зародыш и обеспечивали его развитие в этой маленькой тихой обители. Из такого яйца вылуплялась уже не рыбоподобная личинка, которая вне яйца вновь нуждается в воде, чтобы превратиться в существо, дышащее воздухом, и отрастить конечности. Рожденный из амниотического яйца, едва раскрыв глаза, уже был готов к жизни, готов к охоте за вкусными насекомыми. Это был уже первый представитель пресмыкающихся. Логично предполагать, что существовал постепенный переход от земноводных к пресмыкающимся, но амниотическое яйцо в его совершенной форме – дитя пресмыкающихся.

Несколько слов о влиянии среды. Только что нарисованная картина иссушающего зноя на континентах в каменноугольный период не отвечает действительности. Климат того времени был теплым и влажным; некоторые образно

сравнивают воздух карбона с насыщенной влагой губкой. Это, разумеется, преувеличение, как и картина палящих солнечных лучей (в конце карбона имело место похолодание). Преобладание суши на Земле характерно для следующего, пермского, периода, а к тому времени пресмыкающиеся — на авансцене жизни. Они расширяют область своего существования, так как их организация была проверена на предыдущем этапе эволюции.

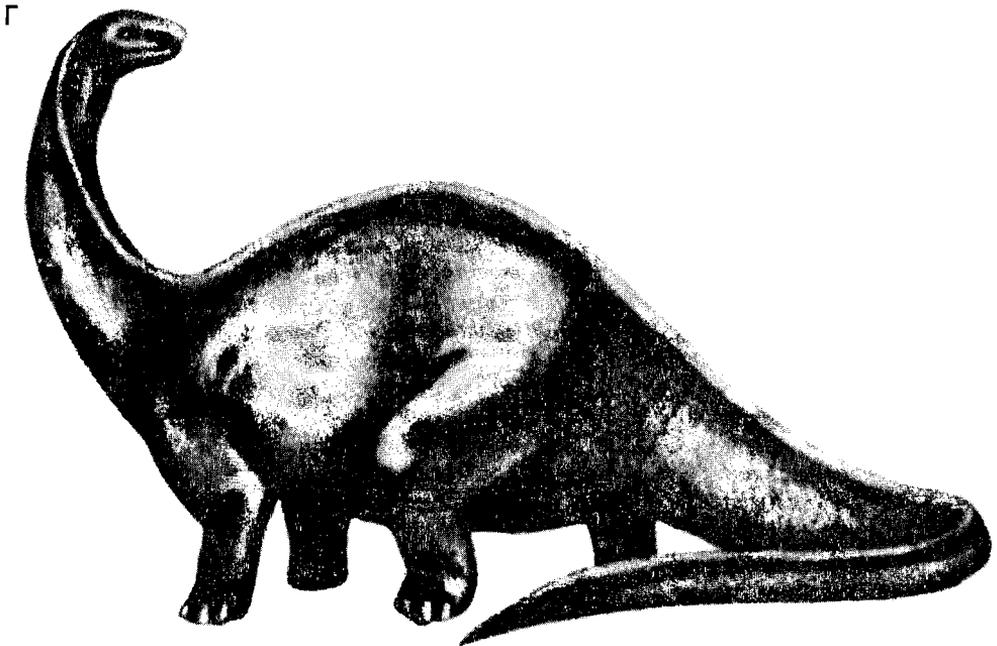
Среда всегда оказывала могучее влияние на эволюцию, но движущей силой последней был естественный отбор. Он обеспечил предварительную подготовку (преадаптацию) пресмыкающихся, своего рода «тренировку» для успеха в будущей борьбе за существование. Некоторые поэтично пишущие ученые говорят, что кистеперые рыбы вышли из воды со взглядом устремленным к новым горизонтам на суше. Это звучит действительно хорошо, но далеко от истины. Кистеперые рыбы свой первый шаг к завоеванию суши сделали в поисках воды в пересыхающих озерах и болотах. Не какой-то внутренний импульс, а борьба за

существование и естественный отбор наиболее приспособленных открывали новые пути развития. На следует забывать, что амниотического яйца нет ни у одного земноводного, тогда как все современные пресмыкающиеся, птицы и даже два вида млекопитающих размножаются такими яйцами.

В амниотическом яйце образуются зародышевые оболочки. Они впервые появляются у пресмыкающихся, сохраняются у птиц и с некоторыми изменениями функционируют как эмбриональные приспособления у млекопитающих.

В новом типе яйца имеются три оболочки. Внутренняя, называемая амнионом, заполнена жидкостью, в которой эмбрион может нормально развиваться. Эта жидкость является новой водной средой, заменившей озерную и речную воду, в которую рыбы и земноводные мечут

*Характерные представители мезозойских пресмыкающихся.
Г — бронтозавр; Д — плезиозавр;
Е — рогатый динозавр;
Ж — ихтиозавр; З — стегозавр.*



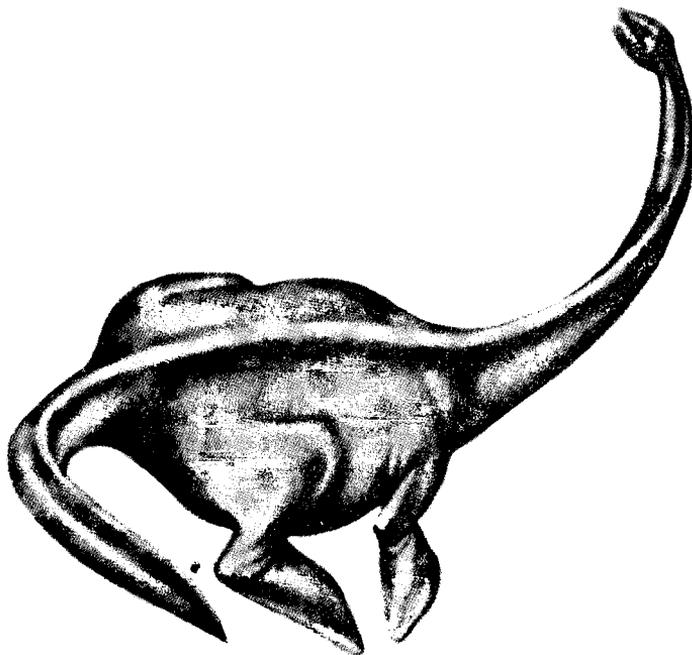
икру. Вторая оболочка, содержащая желток, обеспечивает питание эмбриона через канал, связанный с брюшной областью зародыша. Третья оболочка, называемая аллантоисом, представляет собой зародышевый мочевой пузырь. В него выделяются конечные продукты обмена веществ. Стенки аллантоиса пронизаны кровеносными сосудами, которые снабжают зародыш кислородом, проникающим через пористую скорлупу. Эти три основных зародышевых мешка облекаются тонкой пленкой (хорионом), которая выстилает изнутри скорлупу. Хорион выполняет дыхательную функцию – обеспечивает приток кислорода внутрь скорлупы и удаляет выделяющийся углекислый газ. Остальное внутреннее пространство яйца заполнено жидкостью, в которую зародышевые мешки погружены (амнион, желточный мешок и аллантоис) и которая играет роль своеобразного гидравлического амортизатора, защищающего эмбрион от сотрясения. Так под твердой оболочкой в снесенном на суше яйце сохраняется миниатюрный «бассейн», где нежный зародыш переживает все опасные стадии развития,

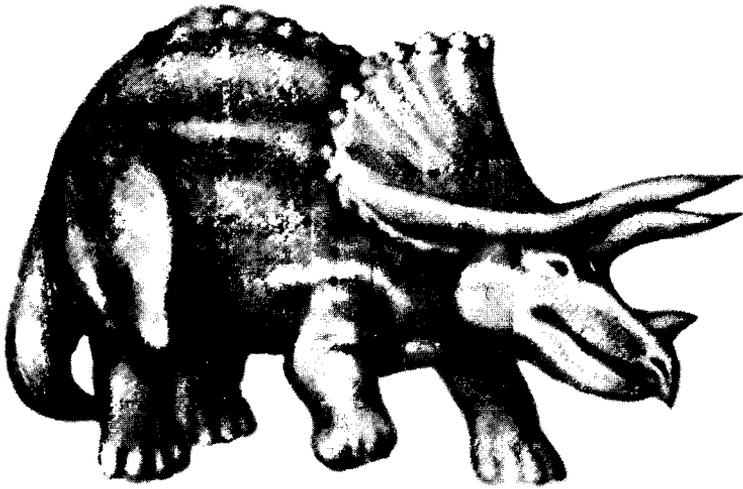
существуя в среде, близкой к той, в которой жили его далекие предки.

Амниотическое яйцо оплодотворяется внутри женского организма. Яйца рыб оплодотворяются в бассейне после выметывания икры женской особью. Как и голосеменные растения, рыбы вынуждены иметь высокую плодовитость. Некоторые рыбы мечут по миллиону икринок каждый сезон, но выживает небольшое количество яиц. Внутреннее оплодотворение и появление жесткой оболочки яйца обеспечили более высокую степень надежности размножения.

Вероятно, один из основных факторов образования амниотического яйца связан с возрастанием количества хищников в озерах и болотах, которые поедали икру и беззащитных личинок. Эволюция демонстрирует нам замечательные примеры того, как организмы вырабатывали ответную реакцию на угрозу потомству. Дарвин часто указывал, что организмы оцениваются по успехам в оставлении потомства. Растения перепробовали несколько вариантов размножения: бесполое и половое – посредством спор и голых семян, пока не нашли наибо-

Д

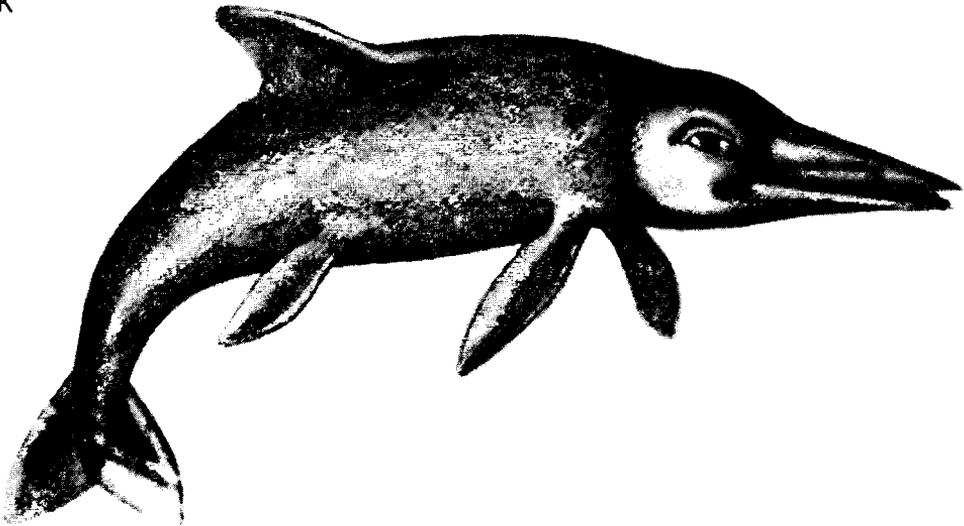


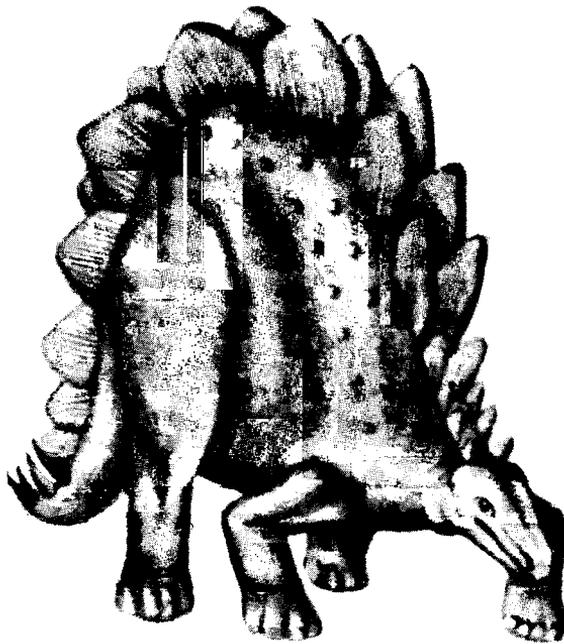


Е

лее перспективный – покрытосемянность. Животные, очевидно, шли параллельным путем. Естественный отбор у земноводных благоприятствовал генетическим изменениям, которые вели к уплотнению оболочки яйца и к перемене механизма оплодотворения. Земно-

Ж





водные «имели честь» совершить самое трудное – первый шаг. Все остальное было вопросом времени. А времени было достаточно – более 50 млн. лет. Таков интервал, отделяющий появление первых земноводных от возникновения первых пресмыкающихся.

Имеется много палеонтологических свидетельств (главным образом окаменевших скелетов из позднекаменноугольной эпохи), которые показывают постепенные переходы от земноводных к пресмыкающимся. Очевидно, развитие амниотического яйца и становление первых пресмыкающихся происходило одновременно и постепенно. Окончательное образование нового типа яйца и нового механизма внутреннего оплодотворения отмечает возникновение истинных пресмыкающихся.

Итак, амниотическое яйцо является главным вкладом пресмыкающихся в эволюцию. Оно стало решающим звеном в цепи непрерывного совершенствования биологической организации животных и положило начало новому замечательному прогрессу в эволюции позвоночных – возникновению трех новых классов: пресмыкающихся, птиц и млекопитающих.

Характерные представители мезозойских пресмыкающихся (по разным авторам из работы Тимофеева-Ресовского и др., 1968)

Вместе с амниотическим яйцом у пресмыкающихся развивается и ряд анатомических черт, которые отличают их от земноводных. Обособляется шейный отдел позвоночника. Это дает возможность свободного движения головы в стороны. В новой среде, которую они начали завоевывать, животные должны быть подвижными, быстро ориентироваться в пространстве и реагировать на внешние события. Первые пресмыкающиеся явно не имели врагов, но они скоро появляются в их собственном семействе. От «наивных» травоядных и насекомоядных собратьев отделяются хищные плотоядные враги. Появление хищных пресмыкающихся в начале мезозойской эры приводит к усовершенствованию строения их собственных собратьев, причем возникают такие причудливые формы, которые не известны ни в одной другой группе животных.

Серьезные изменения претерпевают конечности пресмыкающихся. Если у земноводных конечности располагаются по бокам тела, то у пресмыкающихся они позволяют поднять тело над землей и обеспечить возможность быстрого передвижения.

Совершенствуется мускулатура, дыхание и кровообращение. Более развитым становится сердце, появляются зачаточные лобные полушария мозга, которые, как известно, наиболее полно развиты у млекопитающих и отсутствуют у земноводных. Развитие моз-

говых полушарий у пресмыкающихся является результатом естественного отбора. Это означает эволюционный прогресс и стимулируется улучшением кровообращения.

Развитие всех этих новых приспособительных черт позволило пресмыкающимся удалиться от водных бассейнов и завладеть всей сушей. Отделение пресмыкающихся от земноводных – такой же важный этап, как и отделение земноводных от рыб. Эволюция совершила еще один виток своей великой спирали на пути к новым успехам.



ЗОЛОТОЙ ВЕК ПРЕСМЫКАЮЩИХСЯ

История мира организмов не знает другой группы, которая бы так быстро достигла столь огромного, фантастического разнообразия, как пресмыкающиеся. Покинув водные бассейны в позднекаменноугольную эпоху, они дали начало невообразимо разнообразным и самым невероятным созданиям – от мелких, как черепаха, котилозавров до огромных, как корабль, брахиозавров. Некоторые из них вновь возвращаются в воду, другие завоевывают воздух, но большая часть обитает на земле. Почти 200 млн. лет они оставались могучими властелинами суши. Мезозойская эра – их золотой век. Огромный успех пресмыкающихся, их господство в течение целой геологической эры и гибель в ее конце составляют самую большую загадку в палеонтологии.

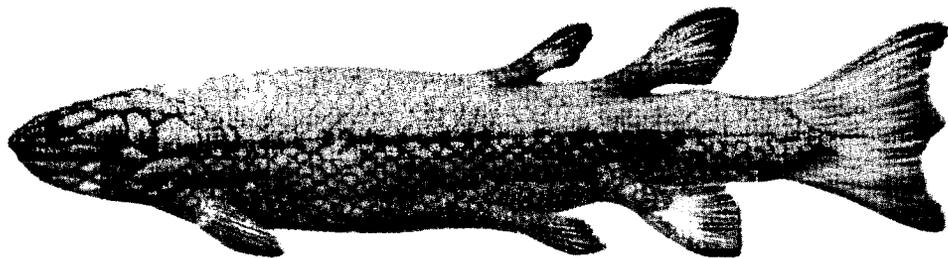
Обширное разветвление родословной пресмыкающихся завершилось в пермском и триасовом периодах.

Для пресмыкающихся были характерны быстрые эволюционные изменения в форме тела и приспособление к самым разнообразным условиям существования. Предшественниками всего класса были котилозавры – мелкие примитивные пресмыкающиеся с морфологией, близкой к земноводным. Одна

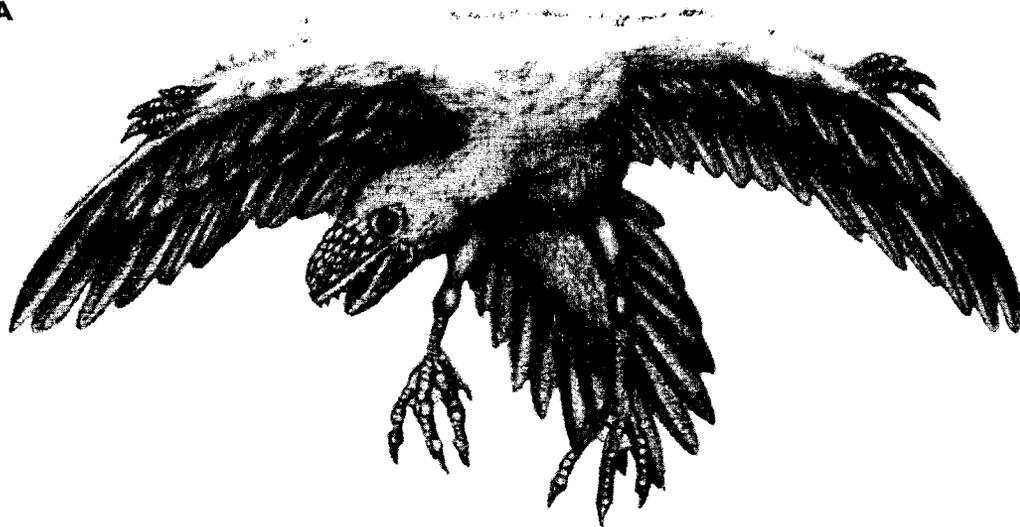
группа потомков котилозавров – примитивные архозавры (текодонты) – сыграла особенно важную роль в эволюции пресмыкающихся. Текодонты дают начало удивительной группе динозавров, а также летающим ящерам (птерозаврам) и крокодилам. Происхождение птиц также связано с текодонтами. Вот почему они являются как бы основным стволом родословного древа пресмыкающихся.

Несколько боковых ответвлений родословной пресмыкающихся представляют особый интерес. В триасе от котилозавров отделяется группа черепах, дожившая до настоящего времени. По своей организации это самые консервативные пресмыкающиеся, основные черты которых остались без принци-

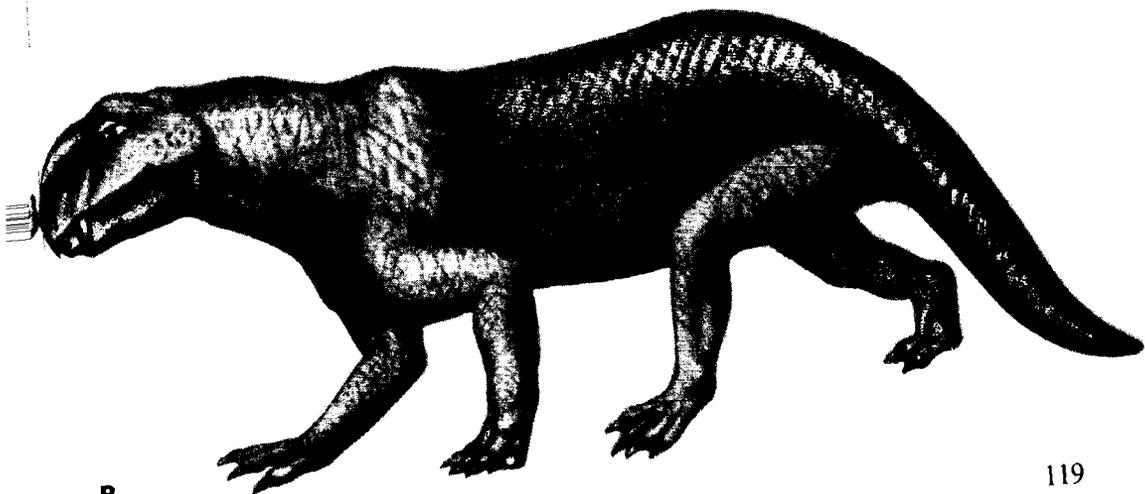
Примеры переходных форм.
А – девонская кистеперая рыба (переходная форма от рыб к земноводным); Б – юрская птица (археоптерикс – переходная форма от пресмыкающихся к птицам); В – трапсидное пресмыкающееся (переходная форма от пресмыкающихся к млекопитающим) (по разным авторам из работы Яблокова и Юсуфова, 1976)



A



Б



В

пиальных изменений в течение более чем 200 млн. лет. Отпрыском первых пресмыкающихся является также группа низкоходящих и ползающих пресмыкающихся – пеликозавров. Они обладали длинными остистыми отростками на позвоночках. Эти отростки были соединены перепонкой, образующей подобие паруса на яхте. Площадь этого уникального образования была пропорциональна объему тела. Вероятно, такое парусовидное образование было пронизано кровеносными сосудами, которые при нагревании на солнце быстро повышали температуру тела животного. Некоторые сравнивают действие паруса пеликозавров с автомобильным радиатором.

Пеликозавры дают начало интересной группе зверообразных пресмыкающихся (терапсид), сходных с млекопитающими. Самые ранние свидетельства о них содержатся в окаменелых остатках из верхнекаменноугольных и нижнепермских отложений Аргентины и Южной Африки. Подобных сведений об этой группе еще очень немного.

Две другие любопытные эволюционные линии пресмыкающихся представлены родословной морских ихтиозавров и завроптеригий (плезиозавров и эласмозавров). После «знакомства» с сушей пресмыкающиеся вновь «делегируют» своих представителей в водные бассейны.

Весьма специфична группа так называемых клювоголовых, из которых в настоящее время представлен один вид – новозеландская гаттерия.

Группа змей и ящериц (люспестий) отделяется еще в триасовом периоде и в настоящее время находится в расцвете.

Эволюция пресмыкающихся в мезозойскую эру испытала множество поворотных моментов. Самой трудной была судьба гигантских пресмыкающихся – динозавров, о чем мы расскажем отдельно. Характерной особенностью истории пресмыкающихся является вымирание многих отрядов в конце мезозойской эры.

Одним из интереснейших моментов было возвращение в воду некоторых представителей пресмыкающихся. Многие из наземных форм делали попытки

вернуться в колыбель предков. Они заново усваивали навыки жизни в воде, а это привело к целому ряду изменений – от приспособлений к обыкновенной охоте на рыб до полного преобразования формы тела, конечностей и всей физиологии организма.

Вода всегда была жизненно необходима для всего живого. Помимо многих других особенностей, свойственных водной среде, водные бассейны характеризуются стабильным температурным режимом с колебаниями в несколько градусов. Другим преимуществом является высокая плотность водной среды по сравнению с воздушной. В наземных условиях важное значение имеют конечности, которые обеспечивают механическую опору для тела. Это ограничивает размеры наземных животных. Правда, в мезозое жили четвероногие пресмыкающиеся (брахиозавры, бронтозавры, диплодоки и др.) огромных размеров, но они большую часть жизни проводили погружившись в воду подобно современным гиппопотамам. Водные же рептилии имели возможность почти неограниченно увеличивать свои размеры. Однако те же факторы, которые позволяют водным животным иметь огромные размеры, ограничивают возможность передвижения. Водные пресмыкающиеся избрали средней оптимальный путь. Им требовалось также решать другие важные вопросы, связанные с дыханием и способами размножения. У многих из них покровные ткани приспособились к извлечению кислорода из воды. Это позволило им долгое время находиться под водой. Однако способность дышать воздухом осталась, как осталась она и у китов – современных млекопитающих, перешедших вторично, как и некоторые пресмыкающиеся, к водному образу жизни.

Водные рептилии изменили и способ размножения, постепенно перейдя к живорождению.

Лучше всех приспособились к жизни в воде ихтиозавры. Они появились в триасе, достигли расцвета в юре и полностью вымерли в меловом периоде, когда другие морские пресмыкающиеся еще были

широко распространены. Ихтиозавры, подобно акулам и дельфинам, имели типично рыбообразное тело длиной до 9 м.

Другая интересная группа морских пресмыкающихся – плезиозавры, широко известные из юры и мела. Их широкое плоское тело, сохранившее характерную для пресмыкающихся исходную форму, напоминает черепаху без панциря длиной 7–12 м. Конечности плезиозавров превратились в длинные плоские плавники, хвост не имел плавника, шея – очень длинная. Любопытно, что один юрский плезиозавр из-за своей длинной шеи был описан в качестве змеи, «которая проткнула черепаху». Это были преимущественно рыбадные животные с челюстями, снабженными острыми зубами. В их рацион часто входили также головоногие моллюски, летающие пресмыкающиеся и другие обитатели моря.

Третья группа морских пресмыкающихся – это так называемые мозазавры. Они достигали 9 м в длину. Их кожа была покрыта чешуей, а челюсти были устроены таким образом, что они могли открывать пасть широко, как змеи.

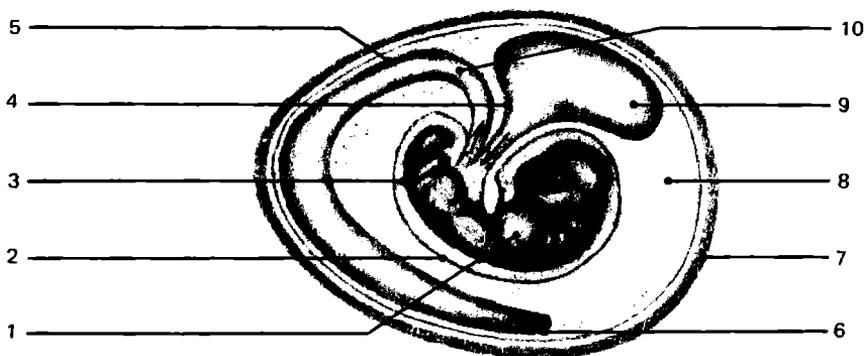
Парадоксально, что пресмыкающиеся, которые ценой жертв миллионов поколений завоевали сушу, повернули назад, к морю. Некоторые рассматривают это как обратимость, регресс эволюции. Подобные взгляды неосновательны. В процессе эволюции любая активно развивающаяся группа стремится занять все разнообразные типы среды, в которых возможно существование. При возвращении в воду пресмыкающиеся также ис-

пытали приспособительные изменения, как и при завоевании суши. При этом они совершенствовали свою организацию применительно к новой среде и открыли новый способ размножения – живорождение.

Пресмыкающиеся – вторая группа животных, которая вслед за насекомыми делает попытку подняться в воздух. Воздушная среда всегда была более трудной для освоения по сравнению с морем. Не случайно люди построили корабли намного раньше, чем изобрели самолеты. Для полета необходимы специальные органы и большие затраты энергии.

Великолепно сохранившиеся находки летающих ящеров дают возможность восстановить историю завоевания воздуха позвоночными животными. Летающие ящеры первыми выработали ряд приспособлений, которые позволили им подняться в воздух: 1) облегченный скелет благодаря развитию тонких полых костей крыльев; 2) череп почти сетчатого

Великое открытие пресмыкающихся – амниотическое яйцо. 1 – зародыш; 2 – амнион; 3 – жидкая среда зародыша; 4 – желточный мешок; 5 – аллантоис (зародышевый мочевой пузырь); 6 – внешняя дыхательная оболочка аллантоиса; 7 – пористая скорлупа; 8 – жидкость; 9 – желток; 10 – продукты обмена веществ зародыша



строения из тонких костей; 3) сильно развитые глаза; 4) преобразование передних конечностей в крылья, в которых между сильно удлинённым четвертым пальцем передней конечности и хвостом протягивалась тонкая кожистая перепонка. Один из летающих ящеров (птеранодон) для поддержания тела весом 10–12 кг развил крылья с размахом до 7,5 м. Среди летающих ящеров известны рамфоринхи, птеродактили и птеранодоны. В 1975 г. в штате Техас были обнаружены останки летающего ящера с размахом крыльев 15,5 м. Летающие ящеры (птерозавры) существовали на протяжении примерно 100 млн. лет. Однако их строение оказалось не особенно перспективным. Более успешным было развитие другой ветви текодонтовых пресмыкающихся, которая привела к появлению в позднеюрскую эпоху первых птиц, тогда как все птерозавры вымирают в конце мела.

Птицы – истинные дети пресмыкающихся, и тому есть много доказательств. В середине прошлого века в одном карьере по добыче литографского камня в Баварии был обнаружен уникально сохранившийся скелет летающего животного величиной с ворону, с большими глазами, зубами, как у пресмыкающихся, и с пальцами передних конечностей, которые были снабжены когтями. Эта форма поразительно похожа на маленького подвижного динозавра, но покрытого перьями. Именно наличие перьев, по мнению специалистов, отделяет это

древнее летающее животное от пресмыкающихся. Эта первая птица была названа *Archaeopteryx*. Развитие перьев вместо чешуи – специфическая черта птиц и их главное эволюционное открытие.

Между птицами и пресмыкающимися имеется ряд существенных различий. В связи с развитием полета у птиц вырабатывается постоянная температура тела. Кости становятся более легкими. В грудной части образуется киль, к которому прикрепляется летательная мускулатура. Зубы и длинный хвост исчезают, передние конечности преобразуются в крылья. Археоптерикс – один из замечательных примеров эволюционно переходной формы.

В течение своего золотого века пресмыкающиеся развивались в нескольких направлениях, причем некоторые из ветвей оказались недолговечными. Одно из основных направлений в эволюции этих животных – ползающие формы, которые оказались и наиболее долгоживущими, и наиболее консервативными. Богатым по разнообразию и плодотворным в золотой век рептилий был путь динозавров, хотя он и завершился трагически. Путь водных пресмыкающихся также дал большое разнообразие форм, но их единственное эволюционное открытие – живорождение. Наиболее перспективные эволюционные ветви дали текодонты, от них происходят птицы и зверообразные пресмыкающиеся, давшие начало млекопитающим.

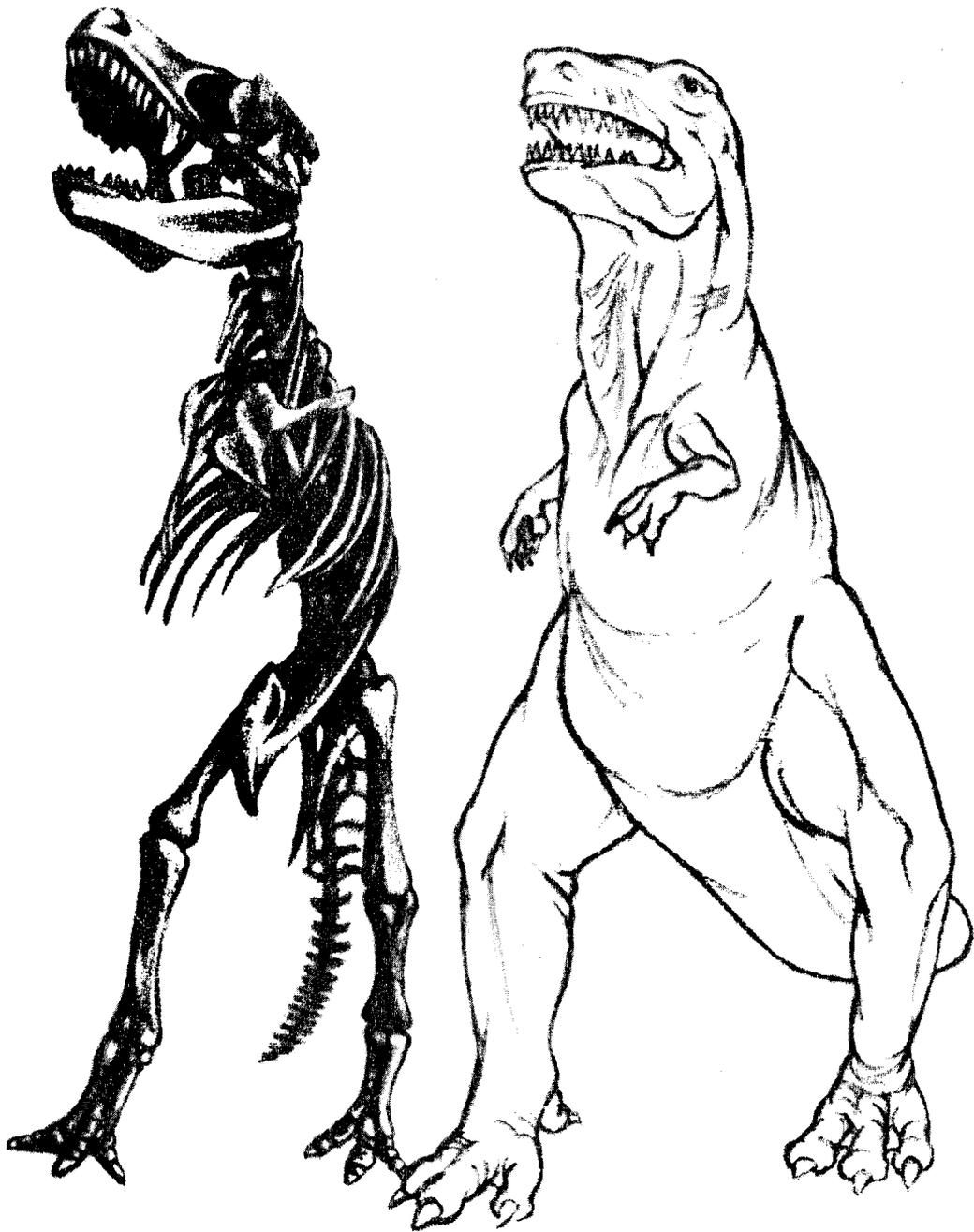


ДИНОЗАВРЫ – «БЛЕСТЯЩАЯ» НЕУДАЧА ЭВОЛЮЦИИ

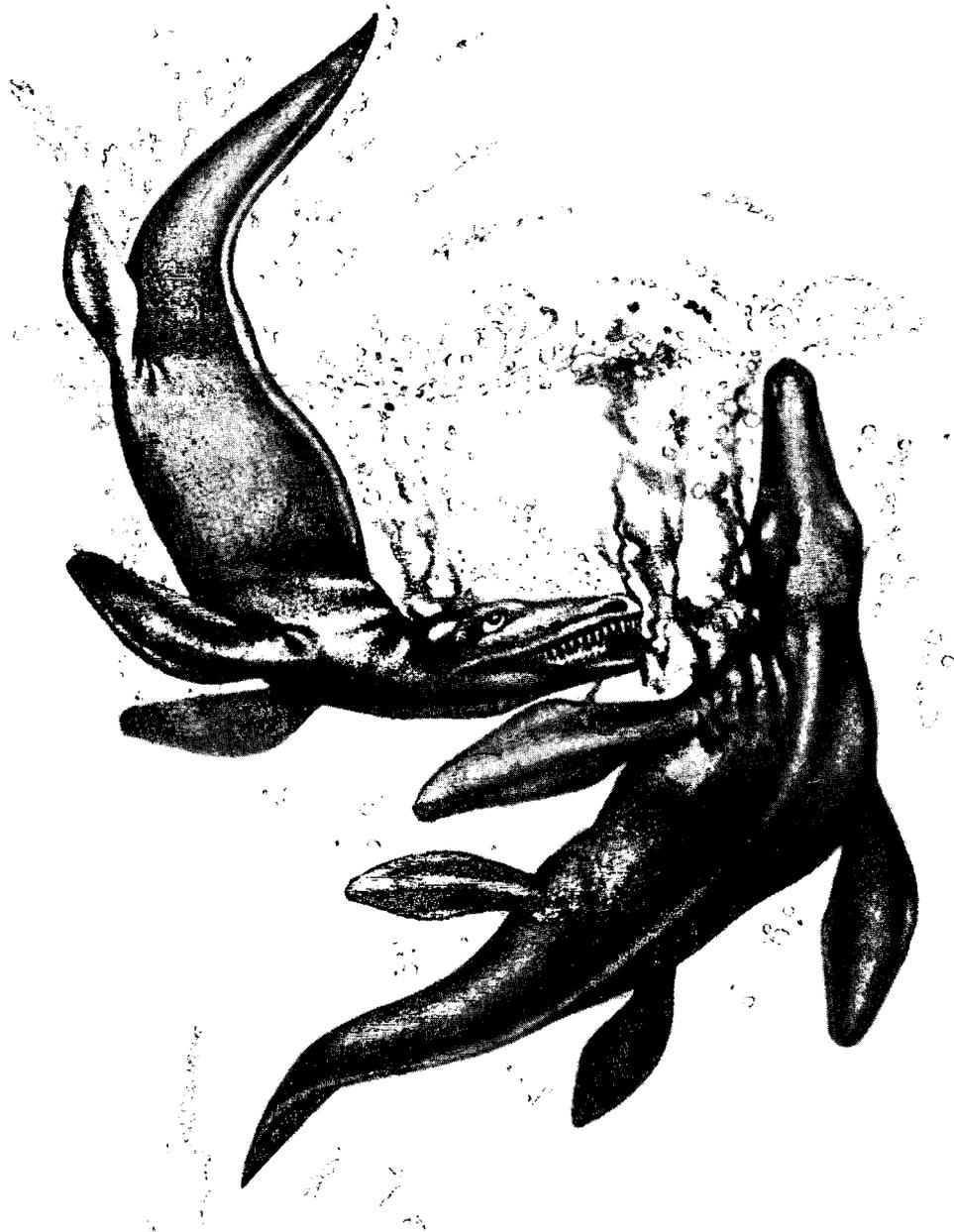
Гораций сказал, что обаяние возрастает при отдалении, но едва ли «ужасные ящеры» – динозавры – привлекают внимание людей только из-за отдаленности эпохи своего величия. Ни один человек не видел живого динозавра, и все же эти древние животные покоряют наше воображение. Причина этого в драматичности их истории, длившейся 160 млн.

лет, истории неудержимого развития к фантастическому разнообразию и быстро (в геологическом смысле) вымирания, последовавшего сразу же после эпохи бурного расцвета.

Первые динозавры величиной не более цыпленка появляются в триасовом периоде (около 210 млн. лет назад) как боковая ветвь текодонтов. В конце триа-



Гигантский хищник – тарбозавр; верхний мел, Монголия. Реконструкция крупнейшего хищного динозавра – тиранозавра (по Суинтону, 1964)



*Морские пресмыкающиеся
мезозойской эры в пред-
смертной схватке (рис.
А. Витанова, по Буриану)*

са возникают два главных ствола динозавров, основное различие между которыми заключается в строении тазового пояса. У одной ветви таз состоит из четырех частей (ящеротазовые), у другой – из трех (птицетазовые). Первый отряд ящеротазовых динозавров (*Saurischia*) объединяет как четвероногих, так и двуногих представителей – травоядных и хищников. Второй отряд – птицетазовые (*Ornithischia*) – включает только растительноядные, двуногие и четвероногие формы. До настоящего времени науке известно более 250 видов динозавров, и постоянно открываются новые, ранее не известные виды.

Самые крупные динозавры относятся к группе полуводных ящеротазовых – это бронтозавры, диплодоки и брахиозавры. Известные находки скелетов брахиозавров показывают, что вес этих гигантов достигал 35–45 т. Недавно в США, к юго-западу от Колорадо, американский палеонтолог Дж. Джексон открыл уникального колосса этого рода с длиной тела 25 м и весом предположительно около 80 т. Если бы эти колоссы жили в наше время, то благодаря своей 12-метровой шее они могли бы смотреть через пятиэтажные дома. Джексон даже назвал свое открытие «ультразавр гигантский». Но как мог скелет поддерживать такую гигантскую массу? Ведь зависимость между размером и весом кубическая: при удвоении роста вес увеличивается в восемь раз. Очевидно, нагрузка на скелет у этих гигантов была близка к критической, и поэтому они часть времени проводили погружившись в воду, возвышаясь длинной шеей над водной поверхностью. Обладая пастью, почти лишенной зубов, они питались водорослями и мягкой прибрежной растительностью.

Погружение в воду снижало нагрузку на скелет и уменьшало сдавливание одних органов другими.

Многие из этих древних гигантов имели помимо головного мозга его «филиал», располагавшийся в тазовой области позвоночника, где было сосредоточено много нервных узлов, управляющих движением огромных конечностей. Несмотря на это, головной мозг динозавров почти соответствует уровню развития этого органа у других пресмыкающихся.

К ящеротазовым принадлежал и самый крупный хищник – тиранозавр, с длиной тела до 15 м и высотой около 6 м. Он был двуногим, с редуцированными передними конечностями, мощным хвостом и страшными, острыми зубами.

Юрский и меловой периоды могут считаться временем расцвета динозавров. Широкое развитие получили и птицетазовые динозавры, исключительно разнообразные по размерам и форме: различные панцирные и «бронированные» динозавры, игуанодоны, утконосы, рогатые динозавры и др. Среди них особенно выделяется стегозавр. Он имел до 6 м в длину, 3–3,5 м в высоту, четвероногий, с более сильно развитыми задними конечностями. Вдоль тела от «скромной» головы до хвоста по позвоночнику проходили два ряда треугольных роговых пластин, а хвост был украшен острыми шипами.

В те далекие времена динозавры бродили по всей Земле. Немногие из них были хищниками, а большинство – тихими «вегетарианцами». Все они находились примерно на одном уровне эволюции позвоночных, хотя из-за быстрой гибели в конце мезозойской эры их считают «блестящей неудачей» эволюции.



ПРЕДШЕСТВЕННИКИ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

История перехода от пресмыкающихся к млекопитающим очень длительна, но вместе с тем распутывание этого интереснейшего звена эволюции позвоночных весьма увлекательно. В течение примерно 150 млн. лет после своего появления в триасовом периоде первые мелкие млекопитающие находились как бы в тени гигантских пресмыкающихся. Этот факт эволюции показывает, что большие перспективы развития имеют формы с более прогрессивной организацией. Однако прогрессивная биологическая организация млекопитающих создавалась медленнее, чем организация пресмыкающихся. Млекопитающие ждали своего времени.

Вполне обоснованно считается, что млекопитающие произошли от пресмыкающихся. Корень наших предков связан с позднекаменноугольными пеликозаврами, от которых в пермскую эпоху развились терапсидные (зверообразные) пресмыкающиеся.

Пресмыкающиеся, от которых в триасе произошли млекопитающие, относятся к териодонтным терапсидным пресмыкающимся, которые названы так из-за наличия у них хищнического или молочного типа зубов. Особый интерес представляет род *Cynognathus*. Это было сравнительно крупное животное с удлиненным, как у собаки, черепом. Наличие острых зубов показывает, что оно было хищным (плотоядным). У него впервые намечается дифференциация зубов на резцы, клыки и коренные зубы. Сильно развитые клыки действовали как острые ножи.

Естественным результатом усовершенствования зубной системы у циногнатуса было развитие костного нёба, которое отделяло дыхательную систему от пищеварительного канала. Появляются и важные связующие звенья между черепом и верхними отделами позвоночного столба.

У циногнатуса развиваются также не-

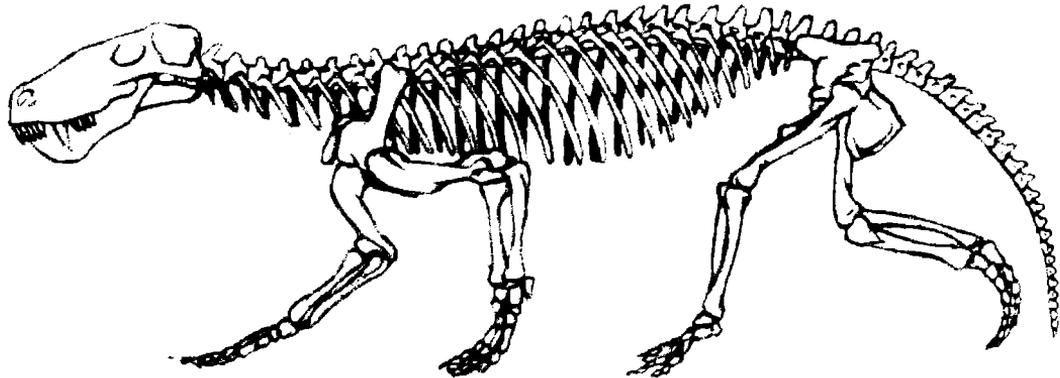
которые другие особенности строения позвоночного столба, характерные для млекопитающих. Плечевой пояс получил прочную опору в передней части – нечто совершенно новое для пресмыкающихся. Изменяются шейные позвонки, очерчивается зачаток безреберного поясничного отдела, как у млекопитающих. Устройство конечностей и сама поза циногнатуса уже совсем напоминают млекопитающих.

Несмотря на присутствие этих прогрессивных черт, которые намечают путь к млекопитающим, циногнатус остается пресмыкающимся. Его череп – рептильного типа, нижняя челюсть образована несколькими костями, а не одной. Пальцы на конечностях как у пресмыкающихся.

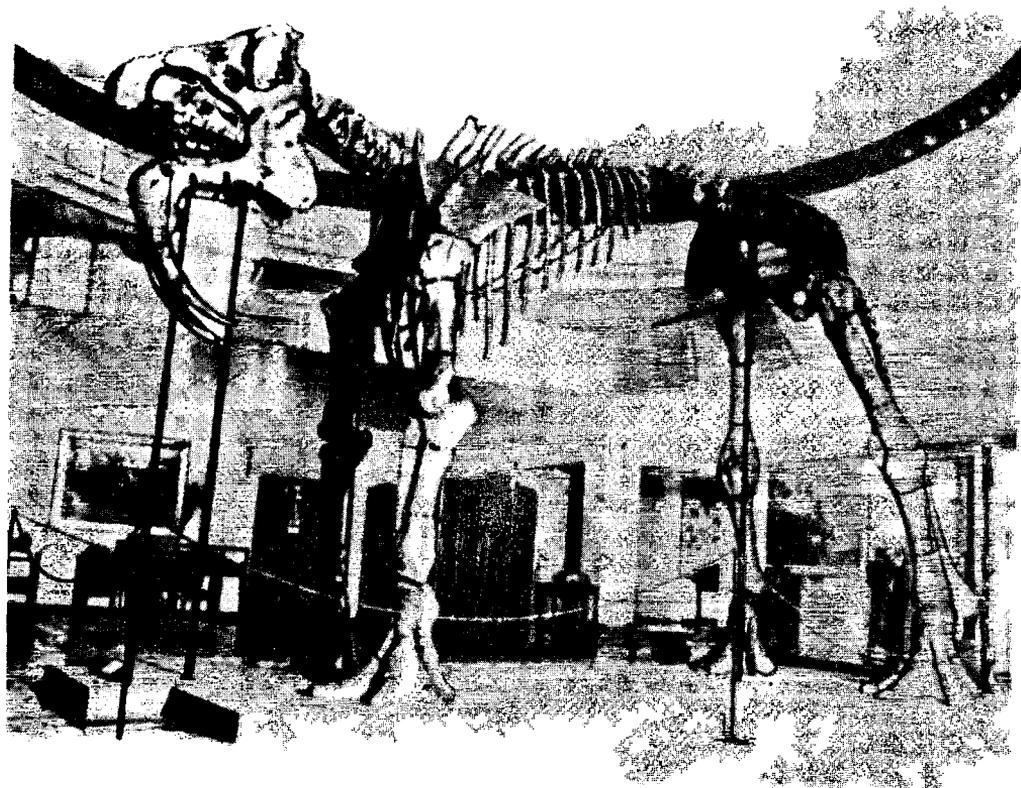
Более близкое сходство с млекопитающими имеет другое териодонтное пресмыкающееся – род *Bauria*, у которого пальцы на лапах и некоторые другие органы устроены как у млекопитающих.

На каком этапе эволюции похожие на млекопитающих пресмыкающиеся переступили порог и полностью стали млекопитающими? Вероятно, пресмыкающееся теряет свои типичные черты и становится млекопитающим после приобретения следующих важных усовершенствований: 1) появления нового механизма вскармливания детенышей – материнским молоком; 2) приобретения постоянной температуры тела и волосяной покрова; 3) преобразования челюстей и ушных костей. По палеонтологическим данным прослеживается трансформация нижней челюсти и ушных костей с образованием стремечка и наковальни. Некоторые палеонтологи даже считают, что

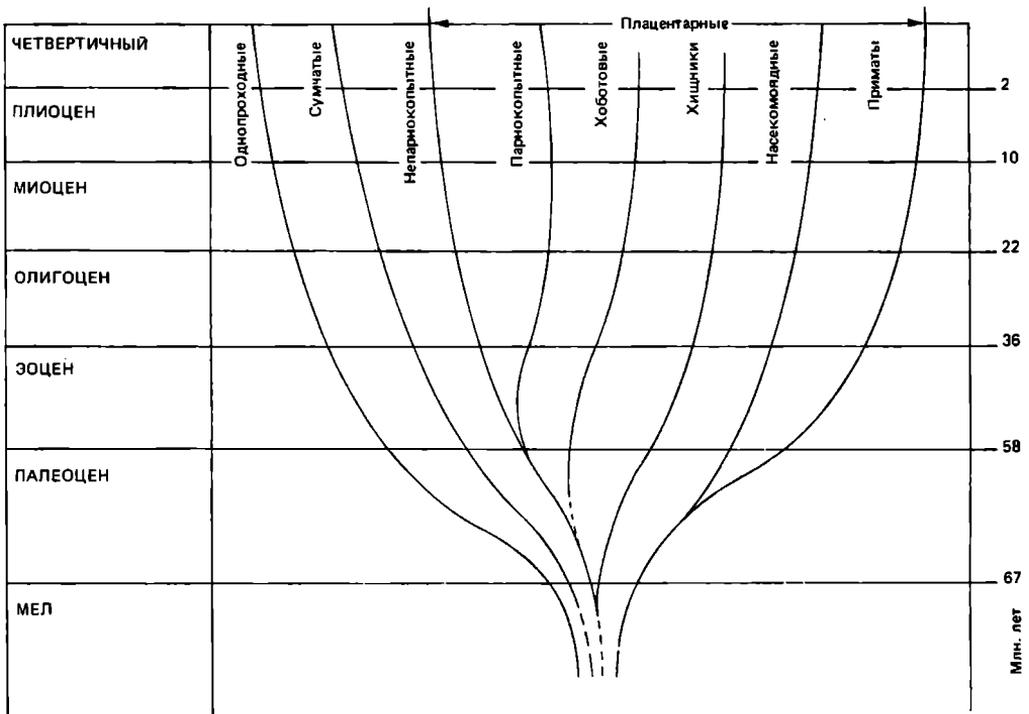
Родословная пресмыкающихся (по Колберту, 1949). Пресмыкающиеся дали начало двум новым классам животных – млекопитающим и птицам



Скелет типичного млекопитающеподобного пресмыкающегося (Lusaeopora) (по Д-р. Герману, из работы Колберта, 1949)



Гигантский Deinotherium из плиоцена близ села Езерово Пловдивского района



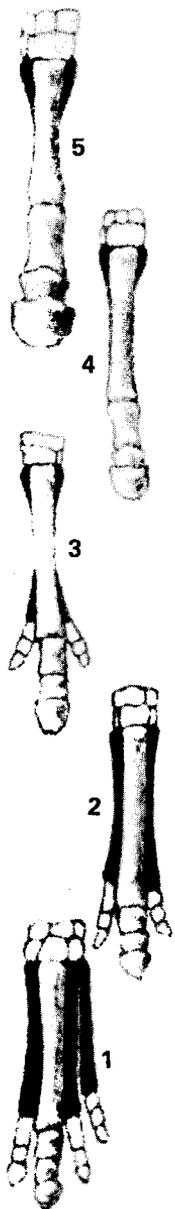
именно количество ушных костей, которых у млекопитающих три, а у пресмыкающихся одна, является разграничительной линией между первыми млекопитающими и их предшественниками из группы терапсидных пресмыкающихся.

Переход от пресмыкающихся к млекопитающим совершился в триасовый период. В следующем, юрском, периоде на Земле уже жили настоящие млекопитающие. Это были мелкие, совершенно безобидные существа. Однако в них тлеет огонь более прогрессивной биологической организации, который с полной силой разгорелся в начале кайнозойской эры — эры млекопитающих.

В истории мира организмов нет более удивительного примера, чем сосуществование гигантских динозавров и мелких первых млекопитающих. Вымирание динозавров открыло путь новым героям, которые долгое время были за занавесом или в тени. Они готовились к той новой великой роли, которую им отвела эволюция. «Самое загадочное событие в истории жизни на Земле, — пи-

Родословная млекопитающих

шет Дж. Г. Симпсон, — это переход от мезозойской эры рептилий к веку млекопитающих. Впечатление как на спектакле, в котором все главные роли исполняли рептилии, и особенно толпы самых разнообразных динозавров; занавес падает на миг и вновь поднимается, открывая ту же декорацию, но совершенно новых актеров; ни одного динозавра, а остальные рептилии на заднем плане, как статисты. В главной роли — млекопитающие, о которых в предыдущих действиях почти не упоминали». Что можно к этому добавить? Однако повторим одну истину: жизнь очень напоминает театр, но театр, в котором драматических спектаклей намного больше, чем водевилей. А режиссер, естественный отбор, — беспощадный постановщик и судья. Он допускает к следующему действию только «самых талантливых», почти всегда окруженных целой плеядой статистов. При этом часто роли меняются.

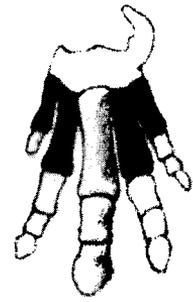


Травоядные



Древесноядные

	Южная Америка	Северная Америка	Евразия
ПЛЕЙСТОЦЕН			
ПЛИОЦЕН			
МИОЦЕН		 	
ОЛИГОЦЕН			
ЭОЦЕН			



Phenacodus

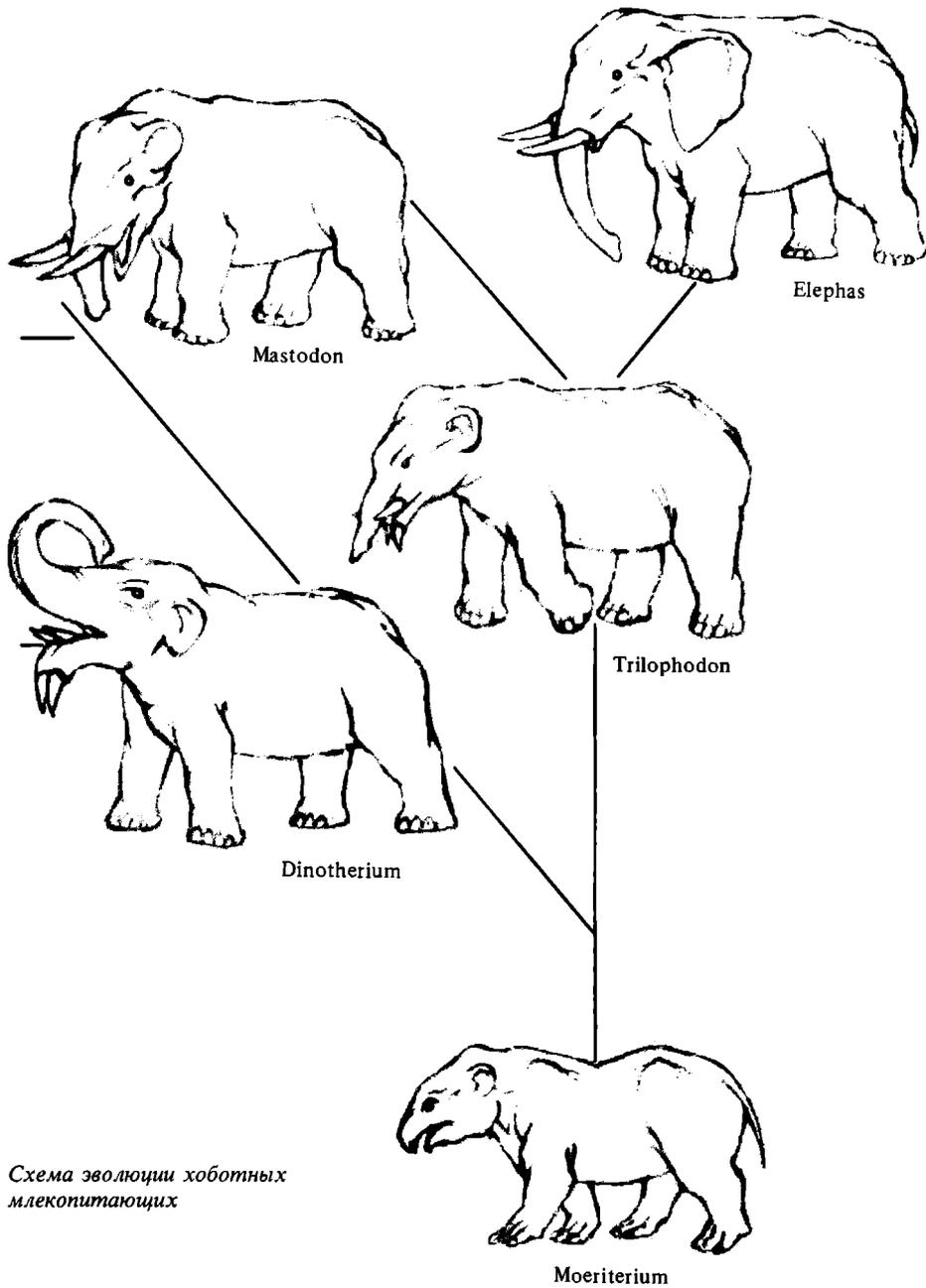


Схема эволюции хоботных млекопитающих



Схема эволюции лошадей (по Симпсону из работы Яблокова и Юсуфова, 1976). Эволюция семейства EQUIDAE — замечательный пример адаптивной радиации млекопитающих



6. ГЛОБАЛЬНЫЕ КРИЗИСЫ



РАСЦВЕТ И ГИБЕЛЬ ПОПУЛЯЦИЙ

В процессе эволюции между организмами возникают сложные взаимосвязи. Вместе с неживой природой они образуют целостную самоорганизующую систему, называемую экосистемой. Следовательно, экосистема – это исторически сложившийся союз между живой и неживой природой. Различают экосистемы: морские, пресноводные, лесные, пустынные, степные, тундровые. Совокупность различных экосистем образует биосферу – живую оболочку нашей планеты.

Взаимоотношения в экосистеме связаны с необходимостью добывания пищи. Любой член экосистемы тем или иным образом связан с другими, а организация всей экосистемы напоминает пирамиду. Место каждого члена в этой «пирамиде» определяется по принципу «кто кого съест?». Простейшая цепь питания имеет следующий вид: растения – растительноядные животные – хищники – вторичные хищники.

Дарвин подчеркивал огромное значение для живого мира взаимоотношения между отдельными организмами. Как пример сложной сети взаимосвязей Дарвин приводит луговой клевер и опыляющих его насекомых – диких пчел. Они стоят на совершенно различных уровнях развития, но стали звеньями единой цепи питания. Дарвин объясняет широкое распространение лугового клевера в Англии массовым развитием диких пчел, которые своим длинным хоботком эффективнее всего опыляют клевер. При этом указывается, что дикие пчелы более рас-

пространены возле селений, потому что там их гнезда меньше уничтожаются полевыми мышами, так как мышшей истребляют кошки. Один немецкий ученый в шутливой форме отмечает, что из этого примера можно сделать следующий вывод: главная заслуга в величии Британии как морской державы принадлежит кошке. Знаменитый Т. Гексли добавляет, что, в сущности, британское могущество обязано старым девам. Эта шутка поистине заключает целую цепь питания: луговой клевер – дикие пчелы – полевые мыши – кошки – старые девы, которые опекают кошек, – крупный рогатый скот, который питается клевером, – моряки британского королевского флота, чьим основным питанием является говядина.

История, бесспорно, анекдотичная, но она хорошо показывает сложную сеть экологических связей.

В нормальной экосистеме все ее население, представленное совокупностями (популяциями) отдельных видов, обычно составляет уравновешенное сообщество. Отдельные популяции развиваются по своим внутренним законам, но всегда в тесном взаимодействии со всей экосистемой. Возникновение популяции (вида) всегда отмечает своеобразное возрождение, которое при подходящих условиях в экосистеме приводит к усовершенствованию как самой популяции, так и экосистемы.

Равновесие популяции может быть нарушено разными факторами, которые могут вызывать несимметричные откло-

нения в численности популяции: ее массовое (взрывное) увеличение или глобальное уменьшение. Такие «волны жизни» широко известны среди современных организмов. Они, как и ряд других факторов, могут спровоцировать резкий упадок и гибель популяции. Такой выход из строя данного населения или некоторой его части никогда не остается без последствий для экосистемы.

Диалектическое развитие мира организмов имеет характер спирали, которая непрерывно раскручивается: возрождение – расцвет – кризис – возрождение...

В этой спирали обычная экосистема стабильна. Но чем ближе ее организация к совершенству, тем больше она подвержена кризисам при выпадении более мел-

ких элементов. Подобно электронной системе, которую один ее винтик может вывести из строя, экосистема с высокой степенью установившихся стабильных связей может рухнуть при изменении факторов внешней среды или вымирании небольшой группы животных или растений. Это приводит к сильному кризису в развитии жизни.

Волнам жизни, установленным С. С. Четвериковым среди ныне живущих организмов, имеются аналоги, проявлявшиеся в геологическом прошлом в масштабе геологического времени. Волны жизни непрерывно вздымались и непрерывно двигались вперед, иногда яростно разбиваясь, как будто подгоняемые тропическим тайфуном.



ПЕЧАЛЬНЫЕ СТРАНИЦЫ КАМЕННОЙ ЛЕТОПИСИ

ПЕРМЬ	
КАРБОН	
ДЕВОН	
СИПУР	
ОРДОВИК	  
КЕМБРИЙ	

История растительного и животного мира полна примеров возникновения, расцвета и гибели отдельных видов, родов и даже целых отрядов. Таков закон развития: созидательные и разрушительные силы коренятся в самой сущности материи.

Сколь созвучен этому Шекспир, разумеется «очищенный» от «человеческого»:

Ты знаешь хорошо, что близких
мы теряем.

Таков закон – живое умирает.
Но лишь пройдя ворота смерти,
бренность

В воротах этих обретает вечность.

Жизнь претерпела много потерь на своем долгом пути, но независимо от этого, а, может быть, именно благодаря этому она, непрерывно совершенствуясь как в целом, так и в отдельных группах организмов, принимала новые решения и открывала новые направления эволюции. Независимо от грандиозных потерь

жизнь постоянно стремилась вперед. Вот почему застой всегда означал смерть.

Я памятью тебя сужу,
О день сегодняшний!
Скажи мне, почему
Забыто время то, когда
Легко он трогается в путь,
Простоволосый, обнажая грудь?!

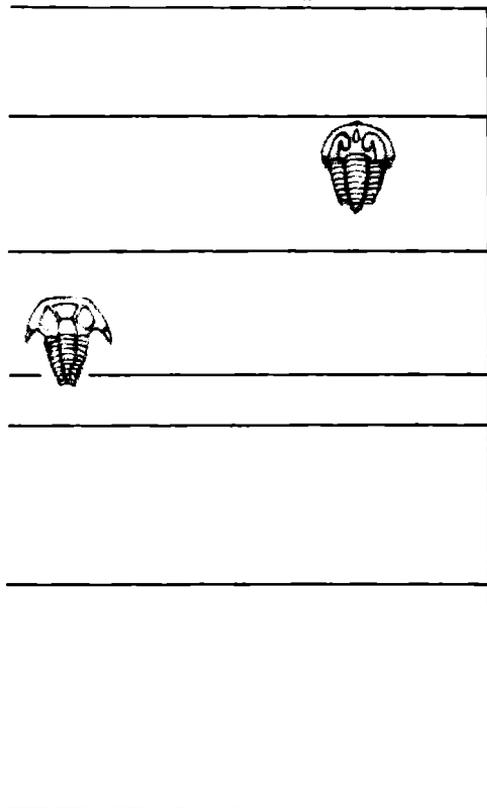
В этом стихотворении Николая Антонова за изумлением кроется диалектическая мысль, потому что жизнь всегда была одним большим путешествием, постоянным столкновением судеб, которые разворачиваются, расцветают или меркнут ради новых судеб.

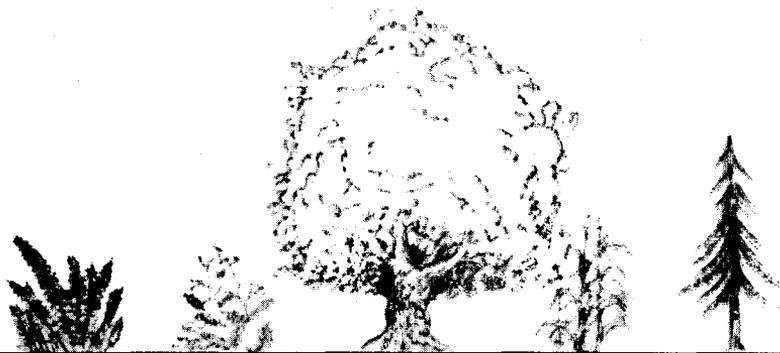
Первое массовое вымирание целой группы организмов произошло в конце кембрия, когда исчез загадочный тип археоциат. Он существовал менее 100 млн. лет и является единственным типом животных с таким коротким временем существования – все другие имеют возраст более 500 млн. лет. В конце кембрийского периода вымирает и часть трилобитов, но группа в целом сохраняет свою стабильность за счет появления новых родов.

Граница девона и карбона (350 млн. лет назад) является началом одного из глобальных кризисов жизни. Вымирают псилофиты – завоеватели суши, практически вымирают граптолиты, начинается гибельный упадок трилобитов и гигантских ракоскорпионов; резко уменьшается число наutilusоидей. Этот глубокий кризис продолжался около 100 млн. лет, до конца палеозойской эры (конца перми).

В конце палеозойской эры жизнь подводит первые «итоги» этого великого перелома. Вымирают полностью: трилобиты, гигантские ракоскорпионы, фораминиферы семейства фузулинид, древние иглокожие (бластоидеи, древние морские ежи, древние морские лилии), четырехлучевые кораллы и их родственники табуляты, крупные группы брахиопод, большинство наutilusоидей, древние амmonoидеи. Резко сократились древние группы

Расцвет и вымирание трилобитов (по Уайттингтону из работы Ньюэла, 1963)





ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ	
ТРЕТИЧНЫЙ	
МЕЛ	
ЮРА	Папоротникообразные Покрытосеменные
ТРИАС	Голосеменные
ПЕРМЬ	
КАРБОН	
ДЕВОН	
СИЛУР	

земноводных и некоторые древние пресмыкающиеся. Полностью исчезают гигантские лепидодендроны, сигиллярии, каламиты, многие папоротники.

Итак, граница палеозоя и мезозоя отмечена массовым исчезновением крупных групп организмов и появлением новых. На месте исчезнувших групп развиваются богатая и разнообразная голосеменная растительность (гинковые, цикадовые, хвойные), белемниты и аммониты со сложными складчатыми перегородками, многочисленные группы пресмыкающихся и др. Корни этого большого кризиса кроются в предшествующих этапах эволюции. Массовые вымирания в конце палеозоя связаны с коренными переустройствами структуры земной коры, образованием новых гор, изменением климата. Противоречия обострились, было нарушено равновесие во многих экосистемах. «Вымирание» дол-

Родословная наземных растений. На своем долгом пути растения понесли много потерь, особенно в конце палеозоя и мезозоя

жно было наступить. Подчеркнем, однако, что этот общий кризис не был катастрофой в буквальном смысле слова, он продолжался десятки миллионов лет. В истории организмов случались также катастрофы, но они были кратковременными и касались только части населения определенной территории или бассейна.

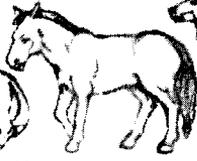
Сравнительная диаграмма развития некоторых групп животных в фанерозое (по Симпсону)



Древние хищники



Истинные хищники



Непарнокопытные



Парнокопытные

	ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ
	ПЛИОЦЕН
	МИОЦЕН
	ОЛИГОЦЕН
	ЭОЦЕН
	ПАЛЕОЦЕН



Наутилоидеи



Аммоноидеи



Трилобиты



Костные рыбы

	ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ
	ТРЕТИЧНЫЙ
	МЕЛ
	ЮРА
	ТРИАС
	ПЕРМЬ
	КАРБОН
	ДЕВОН
	СИЛУР
	ОРДОВИК
	КЕМБРИЙ

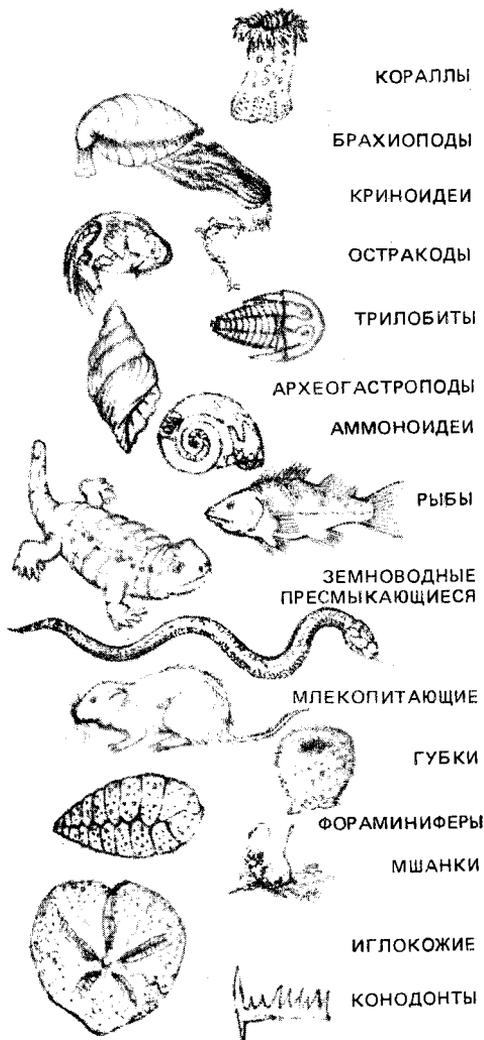
Были эти катастрофы спровоцированы резким проявлением сил природы (землетрясения, засухи, вулканизм, отравление микроорганизмами и т. п.).

Второй глобальный кризис в течение фанерозоя произошел в конце мезозойской эры. Массовое вымирание захватывает большие группы пресмыкающихся (динозавров, летающих ящеров, ихтиозавров и плезиозавров), вымирают аммониты и белемниты, толстозубые двустворчатые моллюски (пахидонты), иноцерамы, большая группа цветковых растений и др. Это массовое вымирание также было постепенным и происходило в течение нескольких миллионов лет.

2–3 млн. лет назад исчезает ряд гигантских млекопитающих.

Чтобы привести примеры массового вымирания, нет необходимости вспоминать трилобитов, аммонитов, динозавров и другие группы геологического прошлого. Жизнь и смерть были связаны вечно и естественно. Это демонстрирует почти каждый земной слой. И печально, что уже на глазах человека—единственного порождения эволюции, которое понимает, что такое эволюция,—6–10 тыс. лет назад только в Северной Америке вымерли следующие гигантские млекопитающие: мастодонт, колумбов слон, камилла, североамериканская лошадь, броненосец, два рода бизонов, мегатерий, тапир и мамонт. «И исконок веков,—пишет эколог П. Фабр,—основой существования всего живого, от индейцев до самого малого насекомого в Великих равнинах, были травы. Вторгшаяся цивилизация с усердием, сравнимым только с ее недалекновидностью, уничтожает травы—первого производителя (питания) сообщества. В результате этого жизненный цикл прерий был полностью разрушен—наступила трагедия ...»

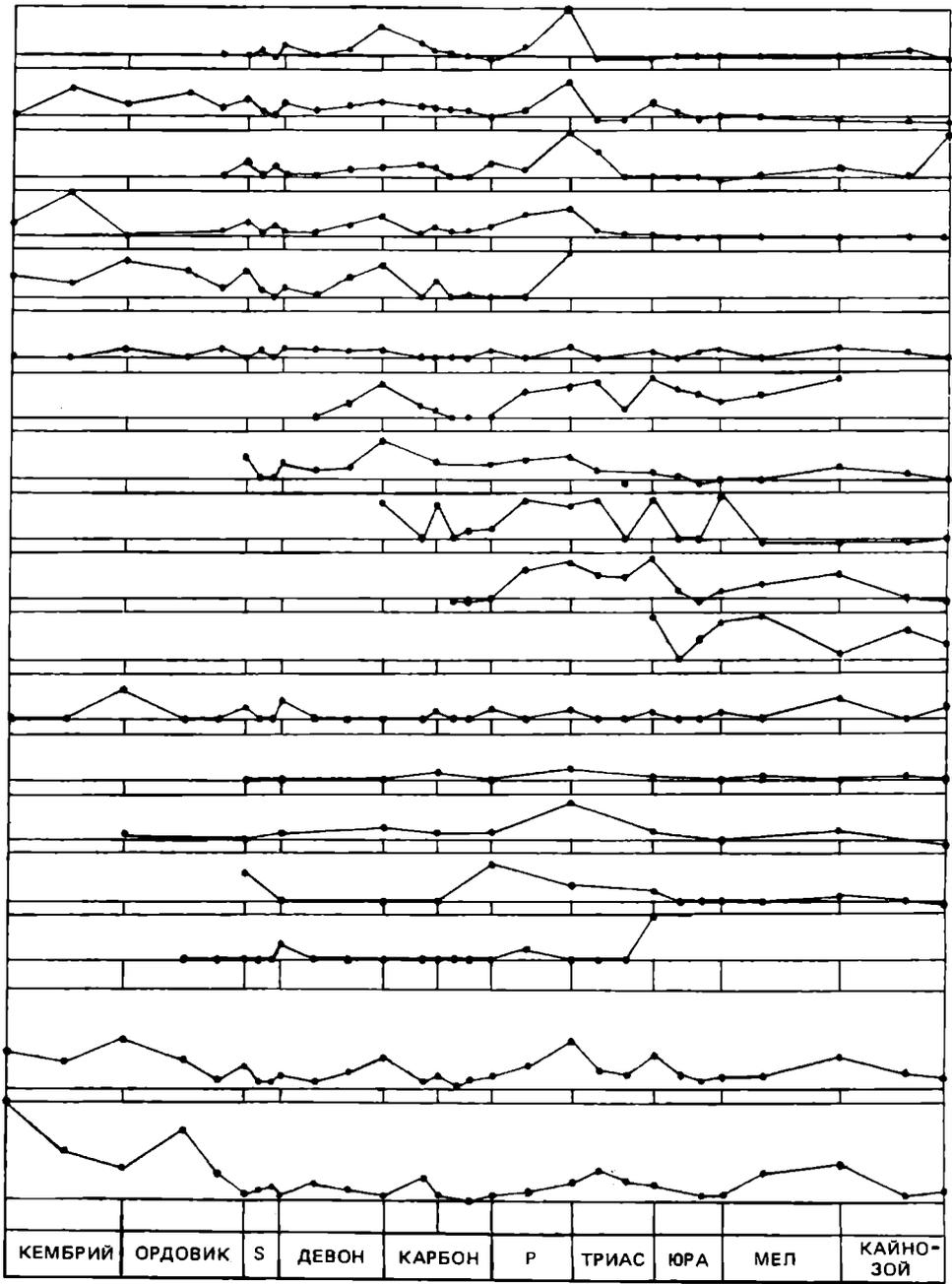
К печальным страницам каменной летописи человек прибавил и ежедневно прибавляет новые. Доколе?



ВСЕ СЕМЕЙСТВА

НОВЫЕ СЕМЕЙСТВА (в %)

Летопись эволюции основных групп животных (по Ньюэллу, 1963). Кривые показывают восходящие моменты и крупные кризисы в истории животного мира





ТАЙНА ГЛОБАЛЬНЫХ КРИЗИСОВ

Для объяснения массового вымирания больших групп организмов создано так много гипотез, что только их критическому рассмотрению известный советский палеонтолог Л. Ш. Давиташвили посвятил книгу объемом более двухсот страниц. Почти все, кто касался этой проблемы – от авторитетных ученых до бойких популяризаторов, – все считали необходимым создать собственную теорию. Я не буду излагать новую теорию, а кратко перечислю высказанные на сегодня гипотезы: 1) тектонические гипотезы, согласно которым причина вымирания лежит в изменении конфигурации континентов и океанов, в распределении суши и моря, обусловленных тектоническими движениями; 2) гипотеза газовых факторов – вымирание происходит вследствие изменения соотношения газов в атмосфере; 3) гипотеза климатических изменений – изменение климата является причиной глобального кризиса; 4) эвстатические гипотезы – причина лежит в колебаниях уровня океана; 5) гипотезы изменений солёности, которые и есть основа массового вымирания; 6) вымирание происходит из-за резких изменений количества микроэлементов; 7) вымирание является следствием воздействия радиоактивных элементов; 8) грандиозные наступания и отступания моря (трансгрессии и регрессии) являются причиной массового вымирания; 9) повышение температуры от падения огромных метеоритов – в этом основная причина; 10) ультрафиолетовая радиация является причиной массового вымирания; 11) космические факторы (например, взрыв сверхновой звезды) есть причина массовой гибели организмов; 12) динозавры вымерли от отравления стрихнином из-за того, что ели непривычную пищу – покрытосеменные растения; 13) группы организмов вымирают вследствие израсходования «эволюционной энергии»; 14) «старение видов» ле-

жит в основе глобального кризиса и т. п. и т. д. Список можно продолжить.

За исключением последних двух гипотез, которые являются чистой мистификацией, и «отравления стрихнином» – наивным мудрствованием в тихий осенний вечер, другие гипотезы имеют рациональное зерно. Однако ни одна гипотеза не может объяснить всех сложных факторов глобальных кризисов. Большинство гипотез настолько наивны, что только ради этого можно их почитать как увлекательную книгу в часы досуга.

Недавно во многих популярных изданиях появились сообщения об одной новой гипотезе американского астронома Джона О'Кифи. По его мнению, около 70 млн. лет назад Земля имела кольцо подобно Сатурну. Оно состояло из мелких стекловидных частиц, называемых тектитами. Это кольцо бросало тень на Землю и вызывало «драматические перемены» климата то в Северном, то в Южном полушарии. Оно исчезло около 34 млн. лет назад. С этим связано массовое вымирание динозавров! А другие, в том числе глубоководные организмы конца мезозоя, – как они погибли? Несколько лет подряд в различных изданиях распространяются гипотезы, которые весьма напоминают один юмористический трактат по сравнительной логике и математике, озаглавленный «О вреде огурцов». Он напечатан в знаменитом «Журнале невозпроизводимых результатов»: «Губительны ли огурцы? Удивительно, как мыслящие люди не поняли смертоносности этого растительного продукта...

1. Практически все люди, страдающие хроническими заболеваниями, ели огурцы. Явно кумулятивный эффект.

2. 99,9% всех людей, умерших от рака желудка, ели огурцы.

3. 100% солдат ели огурцы ...»

На такой логике построено большинство перечисленных горе-гипотез о

массовом вымирании групп организмов.

Разумеется, существует обоснованная научная теория глобальных кризисов в истории жизни – это учение Дарвина, развивавшееся позже и представленное сегодня современной синтетической теорией эволюции.

Причины вымирания групп организмов комплексны и лежат в сложном взаимодействии мира организмов. Основные причины именно во внутренних взаимоотношениях между живыми существами. Губительны для всех организмов те изменения внешней среды, которые подрывают основу пирамиды питания – первичных производителей пищи.

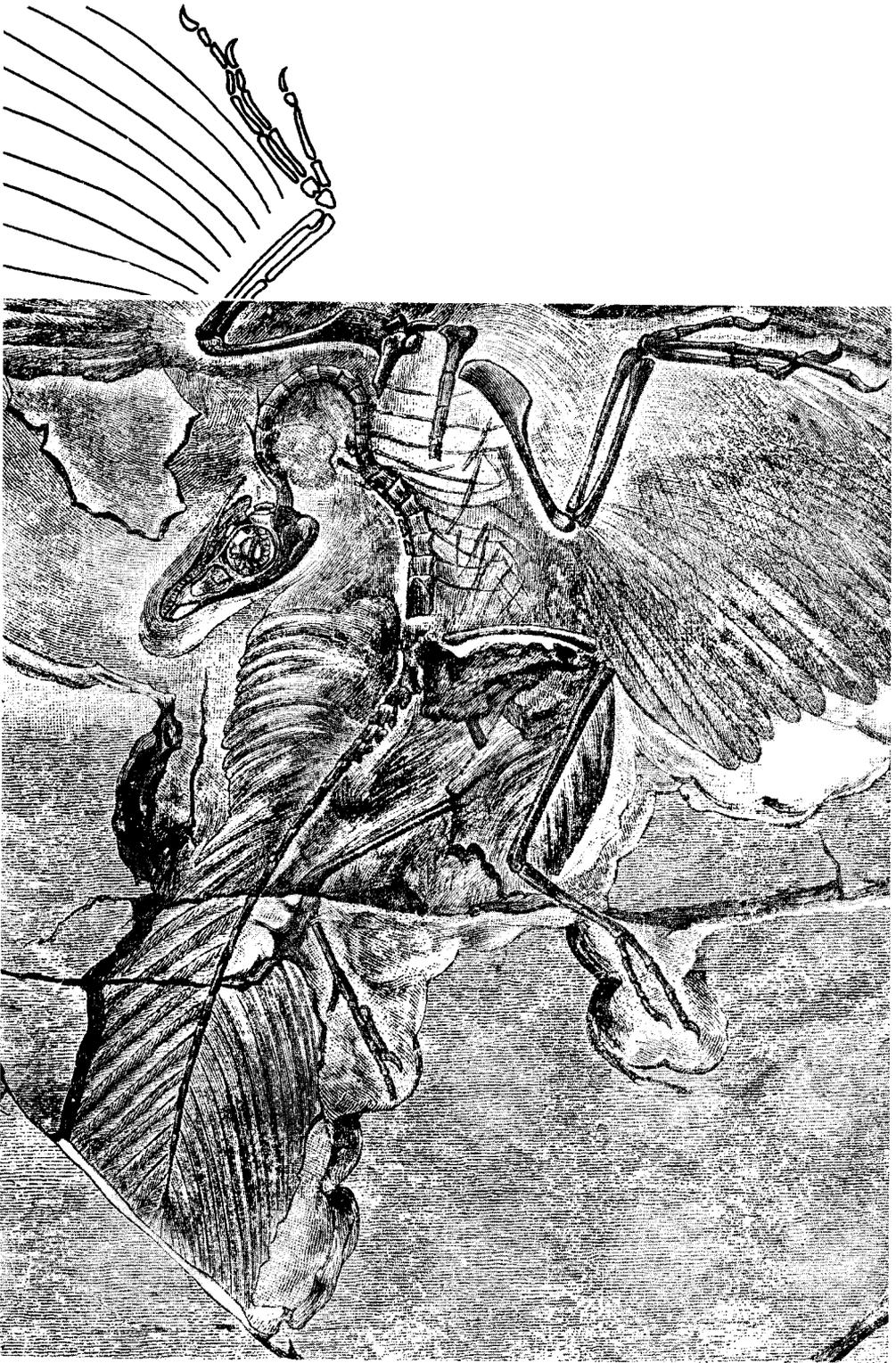
Хотя обыкновенному читателю кажется, что имеют место катастрофические вымирания, научные факты показывают, что на определенных этапах развития отдельных групп организмов возникают кризисы, которые приводят к массовой гибели. Однако это происходит не внезапно, а в течение миллионов лет. Вымирание отдельных групп обусловлено сложными причинами, действовавшими в процессе их предшествующего развития. Никакие отдельные факторы (даже взрыв сверхновой звезды) не могли вызвать глобальных массовых вымираний.

История мира организмов показывает, что массовые вымирания касались не экологических групп, а систематических (например, вымирают все динозавры – морские, наземные, летающие). Следовательно, факторы, обусловившие массовое вымирание, действовали на фундаментальные наследственные признаки, а не на приспособительные элементы в группе. Это подтверждает правоту положения классического дарвинизма: причина вымирания больших групп организмов в геологическом прошлом обусловлена сложными противоречиями в экосистеме.

В течение миллиардов лет эволюция разрешала эти противоречия. В большинстве случаев жизнь приносила много жертв, но всегда открывала пути к эволюционному прогрессу.

Картина изменилась с появлением Разумного человека. Никто до него не совершил столько неразумных поступков по отношению к своей колыбели, как Он.

С философским прозрением Павел Вежинов в «Ночи на белом коне» рисует романтическую картину, в которой, однако, имеются печальные нотки: «А наивный соловей все также заливается песнями. Нет проблем, как их не было у природы, пока она не создала человека».



7. РОДОСЛОВНАЯ ЧЕЛОВЕКА



СЛЕДЫ ПРОШЛОГО В ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА

В своем великолепном памфлете «Для кого создан мир» Марк Твен с присущей ему сатирической остротой атакует религиозное понимание места человека в живой природе. Религия всегда внушала людям, что человек – высшее создание, которое резко отличается от других живых существ. Бог создал его по своему образу и подобию, при этом выделил специальный день, чтобы сотворить венец всего живого. «Эта идея, – пишет профессор Н. М. Амосов, – позже проникает в науку и остается в ней до настоящего времени. Сегодня она предстает в виде «социальной сущности» человека, которая противопоставляется биологической природе, единственно присущей всем другим организмам».

Бесспорно, появление человека знаменует наивысший этап эволюции. Однако с возникновением человека включаются в действие новые факторы, новые законы развития. На своем долгом пути жизнь испробовала различные направления эволюции, но только один из них привел к возникновению существа с высоко развитым мозгом. Последний является одним из главнейших биологических преимуществ человека перед другими животными. По другим анатомическим особенностям человек мало отличается от животных. Однако у него имеются некоторые анатомические черты, совокупность которых выделяет его среди животных: усовершенствование глаз, обеспечивающее резкое, стереоскопическое (объемное) и цветное зрение; руки, способные к различным действиям. Развитие мозга обеспечивает рациональное мышление и порождает самую человеческую черту – способность говорить.

На берегу пред бурным морем ночью
Печальный юноша с тревогою
ума и болью в сердце
Волны вопрошает:
«О волны, разрешите мне
Загадку жизни –
Мучительную, древнюю загадку!..
Скажите, волны, что есть человек?
Откуда он пришел? Куда пойдет?
И кто над нами среди звезд живет?»

Г. Гейне¹

История мировой литературы полна восхвалений человеку. Но многие из них часто пронизаны известной долей трагической иронии по поводу несовершенства этого высшего творения эволюции. Пример тому слова Шекспира:

«Что за мастерское создание – человек! Как благороден разумом! Как беспределен в своих способностях, обличьях и движениях! Как точен и чудесен в деятельности! Как он похож на ангела глубоким постижением! Как он похож на некоего бога! Краса Вселенной! Венец всего живущего! Но что для меня эта квинтэссенция праха?» («Гамлет», акт II, сцена II)².

Этот вопрос столь же древен, сколь древен и сам человек.

Взгляд назад, к прошлому, в далекую ретроспективу полезен для оценки тех важных черт, которые человек унаследовал от далеких предков. Долгая и удивительно интересная история живого мира показывает нам путь, по которому человек «как источник чистой силы сокровенной» поднялся вверх. В этом основа оценки и дальнейших перспектив.

Человек – существо социальное. Его быстрая эволюция стимулируется социальными факторами. Переход от доисторического стада к первобытному обществу, т. е. объединение древних предков в социальную группу, был качественным скачком в развитии человека в сравнении со всеми остальными животными. Но человек принадлежит к отряду приматов и имеет поразительно много общих черт с обезьянами: он – млекопитающее и имеет все характерные

¹ Перевод М. Михайлова.

² Перевод М. Лозинского.

Таблица 5. Основные черты строения человеческого тела, унаследованные от других животных

Основные черты	От кого унаследованы
1. Генетический код	Первые одноклеточные
2. Удлиненное двусторонне-симметричное туловище с четко различными частями	Предшественники рыб
3. Костный скелет	Рыбы
4. Пятипалые конечности	Рыбы и земноводные
5. Легочное дыхание	Земноводные и пресмыкающиеся
6. Слуховой аппарат	Рыбы
7. Амниотическое яйцо	Пресмыкающиеся
8. Удлиненные конечности, дифференцированная зубная система, молочные железы, теплокровие, положение глаз	Примитивные млекопитающие
9. Плацента, живорождение	Ранние плацентарные млекопитающие

черты млекопитающих; он – позвоночное животное и потому родствен рыбам, земноводным, пресмыкающимся и птицам (табл. 5). Все мы носим в крови следы древнего океана.

Появление этих основных черт отмечает узловое моменты эволюции, служившие решающим стимулом прогрессивного развития позвоночных животных.

Общие принципы строения организма человека заложены еще миллиарды лет назад, когда возникла первая клетка и формировался генетический код. Эта модель непрерывно совершенствовалась на тернистом пути эволюции. В геномике человека около 95% генов определяются нашими предками – человекообразными обезьянами. Например, различие в последовательности нуклеотидов в ДНК человека и шимпанзе составляет только 1,1%; такое малое различие характерно для некоторых видов – двойников у насекомых и млекопитающих. Не менее 65% наших генов несут следы генотипа некогда существовавших насекомоядных млекопитающих, которые дали начало приматам. В наших генах содержится значительная часть генофонда древних рыб и первых хордовых и даже некоторых беспозвоночных животных.

Определяющей чертой человеческого организма является двусторонняя симметрия, одно из величайших открытий ранней эволюции. С двусторонней симметрией связаны правая и левая стороны

нашего тела, его передняя и задняя части, удлиненный пищеварительный тракт и сосредоточение основных нервных узлов в передней части тела.

Появление пищеварительного тракта обеспечило уже первым многоклеточным животным огромные биологические преимущества: это позволило сосредоточить в передней части органы, обеспечивающие питание, – рот, щупальца, органы обоняния и зрения. Усложнение нервной системы этого древнего существа привело к образованию первого далекого подобия мозга – контрольного центра всех действий; естественно, что он сосредоточился в передней части. Вот почему расположение рта, мозга и органов чувств одинаково как для весьма примитивных животных, так и для человека. Этим было положено начало процессу цефализации – сосредоточения мозговых центров в голове. Своего высшего проявления этот процесс достигает у человека. Некий ученый, обладающий чувством юмора, кратко и образно оценил роль пищеварительного тракта как основы цефализации: «Через желудок к прогрессу».

От рыб человек унаследовал ряд основных черт: костный скелет с главной опорой – позвоночным столбом, череп, челюстной аппарат и зубы. Несмотря на то что эти черты продолжали совершенствоваться у других позвоночных, основная заслуга принадлежит именно рыбам как первооткрывателям. Первый череп,

по-видимому, появился как удлинение пластинок панциря. Позвоночный столб образовался за счет покрытия хорды костными сегментами, которые постепенно ее заменили.

В целом скелет служил не только опорой для тела, но и брал под свою «защиту» все важные внутренние органы. Скелету позвоночные животные обязаны своим прогрессом.

Основные принципы строения конечностей заложены рыбами и развиты земноводными и пресмыкающимися. Но от рыбьего плавника до изящной и могучей руки человека эволюция проделала долгий путь, начавшийся около 400 млн. лет назад. Наиболее важные пункты на этом пути следующие: начавшееся у рыб разделение тех костей, которые постепенно образуют плечевой пояс и руку человека; появление пятипалой конечности у земноводных, развитие яблоковидных суставов конечностей у пресмыкающихся, особенно у терапсидных пресмыкающихся, сходных с млекопитающими.

Самым большим вкладом пресмыкающихся в эволюцию является амниотическое яйцо. Хотя система размножения у млекопитающих изменяется, она все же сохраняет черты, впервые сформированные пресмыкающимися. Сходные с млекопитающими терапсидные пресмыкающиеся сделали, вероятно, первый шаг к выработке механизма регуляции температуры тела путем улучшения теплоизоляции и более эффективной системы кровообращения с четырехкамерным сердцем. Главный центр, регулирующий температуру, находится в гипоталамусе, расположенном в основании головного мозга. Его действие можно сравнить с работой сверхчувствительного термостата.

Постоянная температура тела обеспечила высокую жизнеспособность млекопитающих, а это постепенно привело к развитию сообразительности. Именно благодаря жизнеспособности и сообразительности, несмотря на малые размеры, древние млекопитающие пережили царствование гигантских динозавров. Многие из них приспособились к жизни на деревьях, а для этого были необходимы и

жизнеспособность, и сообразительность, а также острое зрение и чувство равновесия.

Слуховой аппарат человек унаследовал от рыб. У древних рыб этот орган возник сначала как орган равновесия. Но в зачаточном виде орган равновесия является впервые еще у кольчатых червей. В процессе эволюции он претерпел существенное переустройство. Первый решительный шаг был сделан земноводными, которые решили проблему резонанса воздух – жидкость (у рыб жидкость – жидкость). Среднее ухо человека развивается из жаберной щели, а молоточек, наковаленка и стремечко – из кости бывшей рыбьей челюсти.

Своими удивительными руками, острым зрением и несравненным мозгом человек обязан древним предкам, которые жили на деревьях.

Первые элементы строения конечности, близкие к устройству человеческой руки, являются, вероятно, у примитивных приматов, сходных с лемурами, которые и сегодня живут в тропических лесах на Мадагаскаре.

Жизнь на деревьях стала одним из важнейших факторов в развитии стереоскопического (объемного) зрения. У большинства млекопитающих глаза расположены по бокам. Поэтому животные видят одновременно две разные, но не объемные картины. Расположение глаз в передней части морды впервые является у древних приматов. В результате этого поля зрения перекрываются и зрение становится объемным. В дополнение к этому глаза высших приматов получают способность к цветоощущению. Большинство животных видят предметы «размазанно», с неясными контурами, не различают цвета и имеют плохо развитое чувство расстояния.

Около 90% информации дают человеку глаза. Хотя некоторые животные (например, ястреб) имеют более сильное зрение, их глаза неподвижны. Способность воспринимать объем и цвет обогащает мир и стимулирует развитие мозга. Внешне мозг человека и мозг человекообразной обезьяны сходны. Но между ними имеется существенное различие в

степени развития серого вещества, так называемой коры. Бесспорно установлена определяющая роль коры для разумного поведения, памяти, способности к абстрактному мышлению и т. п. Кора выглядит тонкой, но она составляет 80% объема человеческого мозга. Кора не есть вместилище разума, это ассоциативный центр мозга, который получает, анализирует и связывает восприятие в единое целое. Многие уже известно о человеческом мозге, о его могуществе, о его роли во взаимодействии с другими органами, и все же он остается величайшей тайной. Может быть, когда человек раскроет эту сокровеннейшую тайну, можно будет ответить, почему войны возникли раньше музыки, и тогда водворится социальная справедливость и мир

во всем мире. Этот мир необходим для движения человечества к дальнейшему социальному прогрессу, потому что в нем его спасение. Одно стихотворение поэта Здравко Кисева звучит как спонтанный поэтический образ этой надежды:

Не умоляя
надолго здесь остаться.
Страшусь,
Что если успокоюсь,
надолго где-то задержусь,
то корни я пушу
глубоко в землю,
превратившись в дерево ...
Страшусь,
что брат мой топором
следы мои согрет,
меня не узнавая.
Уж ясно слышу я его шаги.
В движении мое спасенье.



ТРУДНЫЙ ПУТЬ ПРИМАТОВ

В своей статье «Поклон приматам» советский автор А. Малинов пишет: «Люди воздвигли памятник собаке. Есть памятник в честь лошади. Отмечены («заслуги») зайца и дельфина. Парки полны скульптур благородных оленей и распростерших крылья орлов. Однако перед обезьяной человек все еще в долгу ...»

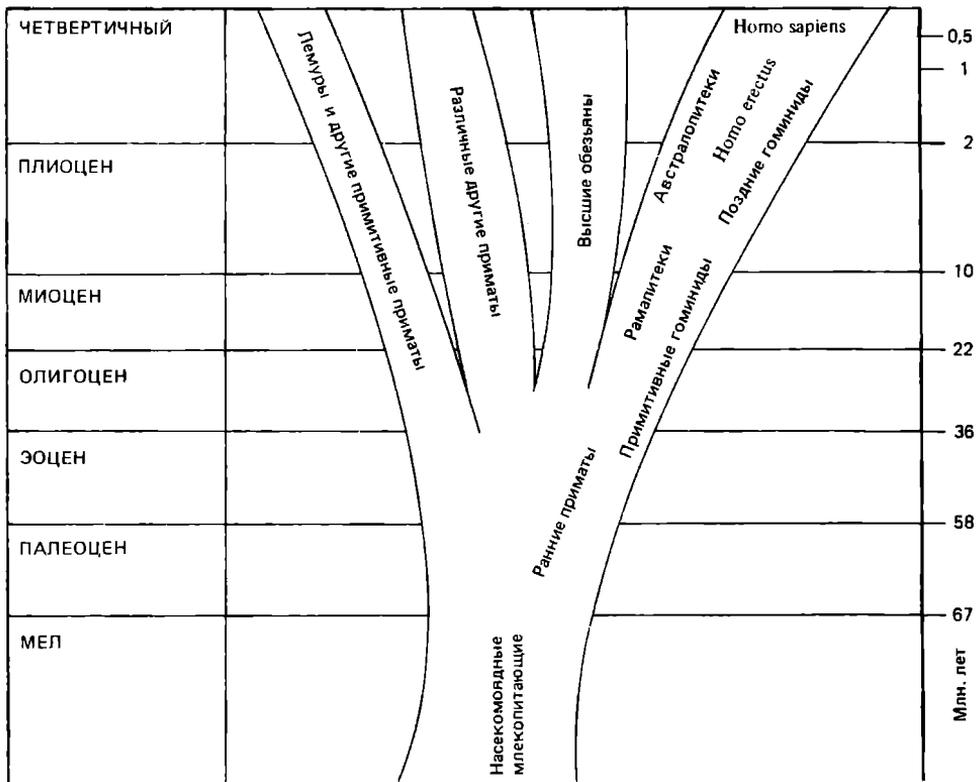
Человек – бесспорно вершина эволюции мира организмов на Земле – одновременно является и самым высокомерным существом. Как сказал английский антрополог Джон Нейпир, если бы происхождение приматов рассматривал жираф, то самому человеку он бы выделил истинное, возможно, не самое завидное место. Человек сам себя назвал *Homo sapiens* – человек разумный, а вместе со своими предками – обезьянами (бес- сильный скрыть свое «низкое происхождение») объединился в один отряд плацентных млекопитающих, им самим названный приматами (*Primates*) – князя! И все же до сегодняшнего дня эпитет «обезьяна» в применении к человеку остается самым обидным прозвищем.

Приматы – высшие млекопитающие, приспособленные к жизни на деревьях и имеющие сильно развитые большие полушария головного мозга, хорошо развитые подвижные пятипалые конечности, дифференцированную систему зубов, совершенные органы зрения, слуха и осязания.

К этому отряду относятся лемуры с Мадагаскара, лориты из тропической Африки, длиннопалые обезьяны – единственный род, сохранившийся сегодня в Индокитае, обезьяны Старого и Нового Света, человекообразные обезьяны (в том числе гиббон, орангутан, шимпанзе и горилла) и человек.

Отряд *Primates* делится на два подотряда: полуобезьяны (*Prosimi*) с 12 семействами и высшие приматы с 8 семействами, среди которых семейство *Hilobatidae* – гиббоны (олигоцен – наше время), семейство *Pongidae* – дриопитеки, шимпанзе и гориллы (олигоцен – голоцен) и семейство *Hominidae* – *Ramapithecus*, *Australopithecus* и *Homo* (миоцен – голоцен).

В процессе своей эволюции приматы



претерпели много изменений, обусловленных в наибольшей степени специфическим образом жизни на деревьях. Исследование этих черт особенно интересно, так как они наследуются и развиваются человеком. У приматов еще до разделения на обезьян и гоминид вырисовываются некоторые эволюционные тенденции, которые имеют особое значение в происхождении человека. В книге «Биология человека» оксфордский профессор Дж. Гаррисон указал несколько основных тенденций, которые в различной степени проявляются у отдельных групп приматов и связаны с наследованием приспособительных признаков, характерных для древесного образа жизни:

1. Приспособление конечностей к захвату. Животные, которые проводят большую часть времени сидя на деревьях, должны иметь приспособления для захвата и удержания веток. Ряд животных используют для этого острые когти. Но приматы избрали другой путь — их руки и ноги приобретают спо-

Родословное древо приматов

собность хорошо захватывать предметы. Это обеспечивается путем усиления независимого движения пальцев, особенно первого пальца руки и большого пальца ноги. У человека большой палец ноги почти прямой и не может противопоставляться другим. Необходимость в этом отпала при переходе к прямохождению.

Благодаря такой эволюции конечностей у всех приматов в сравнении с другими плацентарными млекопитающими способность к захвату резко увеличена. Происходит и другое параллельное изменение — замена острых когтей плоскими ногтями и повышение чувствительности пальцев. Это постепенное изменение можно проследить у ряда древних приматов отряда Prosimi (полуобезьян).

У разных приматов развиваются и различные способы передвижения: 1) хождение на четырех ногах, характерное для низших обезьян; 2) медленное лазание по деревьям (у лори); 3) захватыва-

ние веток рукой и раскачивание – гиб- бонны передвигаются в основном этим способом, который характерен также для орангутана и в меньшей степени для шимпанзе; 4) передвижение прыжками с дерева на дерево путем захвата веток – характерно для большинства полуобезьян; 5) выпрямленная двуногая походка человека. Ряд других приматов, а также столь далекое от человека животное, как медведь, способны ходить на двух ногах. Но у человека этот способ передвижения проявляется особенно ярко. Такое передвижение требует точно согласованной работы мышц и позвоночного столба, таза, бедер, стоп. В своих «Размышлениях о здоровье» советский ученый Н. Амосов отмечает, что прямая походка у человека является несущественным признаком. «Человек ходит, – пишет профессор Амосов, – на двух ногах потому, что так издавна «принято в обществе». Нет, я не собираюсь это утверждать, но кажется подозрительным, что две девочки, выросшие в обществе животных, ходили на четвереньках». Может быть, профессор Амосов прав, и для здоровья современного человека прямая походка не имеет «принципиального значения». Во всяком случае, двуногое хождение не есть признак исключительно человека. Вместе с тем прямохождение представляет собой эволюционный скачок: оно освобождает передние конечности, которые преобразуются в ловкие руки.

2. Развитие передних конечностей как органа исследования и употребления предметов. Сложности образа жизни на деревьях сохранили и усилили ключицы у приматов. В этой обстановке готовность к быстрому реагированию стала условием выживания. Постепенно передние конечности начинают выполнять и другие функции: исследование неизвестных предметов, собирание плодов и перенос пищи ко рту. В связи с этим у приматов постепенно укорачиваются челюсти, которые у других млекопитающих удлинены. Очевидно, что образование человеческой руки с ее необычайной ловкостью и тонким осязанием связано с приспособлением к жизни на деревьях, характерной для древних приматов. Одной из

главных особенностей человеческой руки является независимое движение пальцев и возможность располагать большой палец напротив других, особенно напротив указательного. Это обеспечивает сильное и точное захватывание – основу трудовой и художественной деятельности человека. Корни этой особенности кроются в эволюции приматов.

3. Развитие пищеварительной системы. Почти все приматы всеядны или растительноядны. Некоторые (например, полуобезьяна *Daubentonia*) составляют исключение и питаются насекомыми. Считается, что слепая кишка сохранилась с того времени, когда наши предки были чистыми вегетарианцами.

Переход приматов, особенно высших их представителей, к мясной пище сыграл фундаментальную роль в их эволюции. Энгельс отмечал, что «... человек не мог бы стать человеком без мясной пищи, и если в то или иное время употребление мясной пищи у всех известных народов влекло за собой даже людоедство... то сегодня это нас не касается». Как выдающийся диалектик Энгельс интуитивно понял значение мясной пищи. Она доставляет организму необходимые аминокислоты (например, лизин), количество которых в растениях ничтожно. Для обеспечения необходимого минимума аминокислот животное было бы вынуждено непрерывно поедать различную растительную пищу. Такая жизнь не способствует совершенствованию организма и развитию разума. В качестве примера можно привести растительноядных горилл и всеядных, преимущественно плотоядных, шимпанзе. Австралопитеки были еще более умелыми и хищными существами по сравнению с шимпанзе. Среди них впервые возникает каннибализм. При исследовании черепов этих древних предков человека (3 млн. лет назад) отмечались явные следы ударов, при этом чаще удары приходились на левую часть черепа, т. е. австралопитеки имели, как и современный человек, более сильную правую руку.

Изменение способа питания приводит к изменению зубной системы.

4. Развитие ровных зубов, распола-

гающихся подковообразно на обеих челюстях. У низших и человекоподобных обезьян Старого Света, как и у человека, имеется 32 зуба; у обезьян Центральной и Южной Америки зубная формула отличается.

5. Редукция органа обоняния. По сравнению с другими наземными млекопитающими у приматов наблюдается постепенное укорочение морды и редукция органов обоняния. Самым ярким свидетельством этого является исчезновение ринария – богатой железами складки на верхней губе, которая соединяет ноздри и имеет связь с деснами. Ринарий остался только у лемурув.

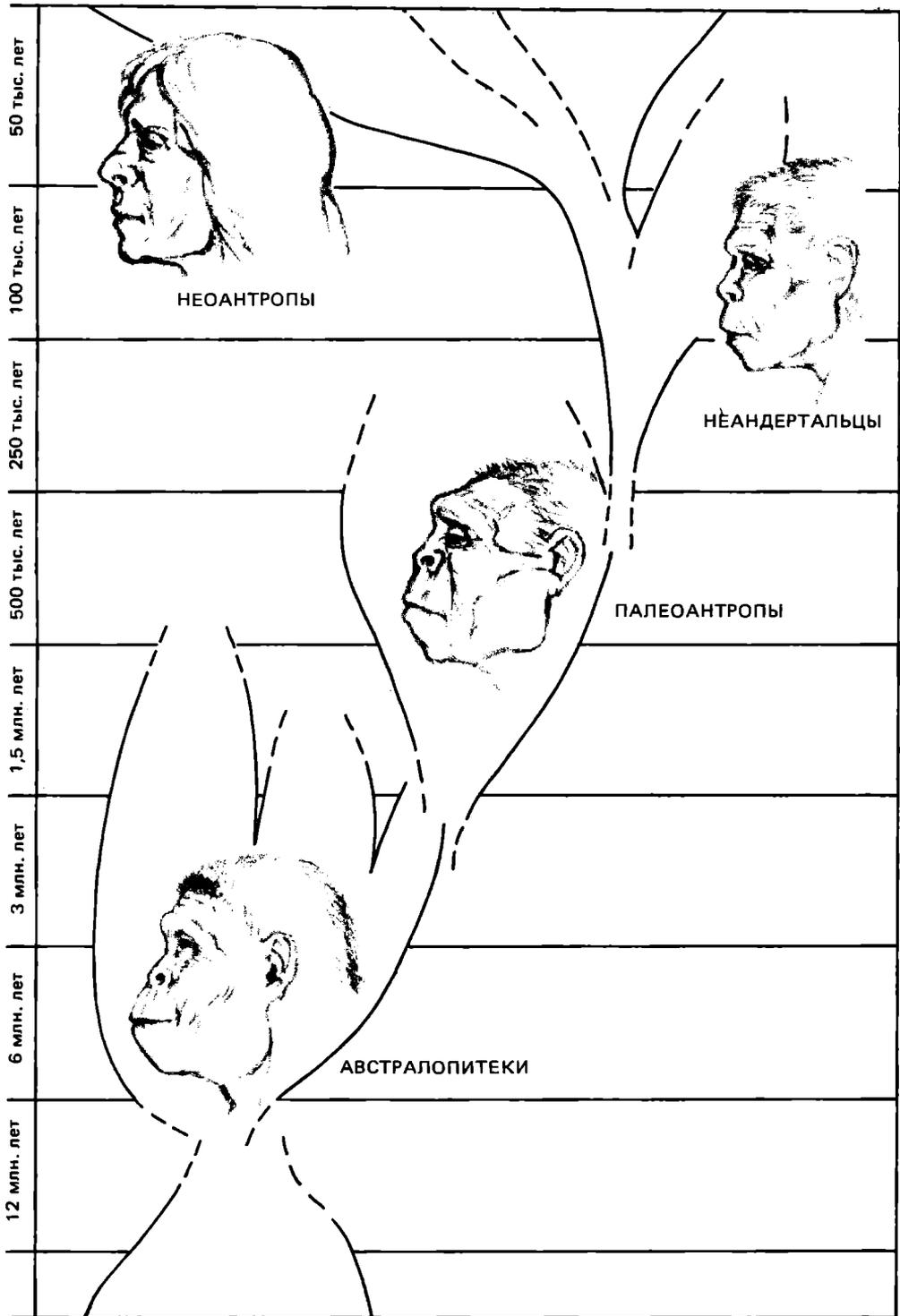
6. Совершенствование зрения. В процессе эволюции приматов зрительные органы стали доминирующими в приеме информации о внешнем мире. Увеличиваются размеры глаз, которые перемещаются с боковой в переднюю часть черепа; происходит сложная дифференциация зрительной сетчатки. Возникает объемное и цветное зрение.

7. Развитие мозга. От древнейших приматов до сегодняшней эпохи расцвета человека прослеживается постоянная тенденция к увеличению размера головного мозга. Если у примитивных приматов он совсем мал (у человекообразных обезьян его объем составляет 400–500 см³, у гориллы – 460 см³, у шимпанзе – 400 см³), то у человека объем мозга колеблется от 900 до 2000 см³, в среднем – 1500 см³. Несмотря на различные размеры в эволюционном отношении, мозг каждого нормального человека имеет одинаковые потенциальные анатомо-физиологические свойства. Увеличение размеров мозга связано с усложнением коры – увеличением извилин. Усложнение коры головного мозга приматов приводит к ее доминирующей роли над деятельностью низших мозговых центров. Загадкой остается появление асимметрии, функционального различия двух полушарий мозга человека. Очевидно, что появление асимметрии полушарий открыло возможность повышения эффективности работы мозга без увеличения его веса. Разумеется, из-за этого многие функции

остаются недублированными, но это может быть дополнительным доказательством того, что и человек еще не достиг своего совершенства.

8. Изменение черепа. Привычка приматов занимать сидячее положение и особенно прямохождение привели к изменению в строении положения черепа. Его основание постепенно располагается под прямым углом к позвоночнику. Для удержания черепа в этом положении требуется меньше мышечных усилий. Затылочные кости смещаются назад и вниз; стенки самого черепа становятся тоньше, что способствует увеличению мозга; лицевая часть смещается относительно мозговой, и в результате этого резко уменьшается длина всего черепа. Эта тенденция прогрессирует у высших антропоидов.

9. Сокращение количества одновременно рождаемых детенышей. У приматов устанавливается способность рождать двух-трех детенышей, а у некоторых – одного. Этот факт, явно связанный с образом жизни, имеет замечательные эволюционные последствия. Если в утробе матери развиваются несколько зародышей, то среди них возникают конкурентные взаимоотношения, в результате чего быстрее развиваются те, которые имеют преимущество. Их развитие благоприятствует отбору. Если самка носит меньше зародышей (1–3), давление отбора уменьшается. Уменьшение потомства увеличивает время его развития. Для приматов характерно увеличение времени полового созревания и времени, в течение которого необходим материнский уход. Эти факторы являются предпосылкой податливости поведения, основной обучения. Тенденция к увеличению периода созревания достигает высшего развития у человека, как следствие его социальной организации. Социальная организация усиливает альтруистические черты человека. Таким образом, в борьбе за существование побеждали не только самые ловкие и сообразительные, в том числе и каннибалы, но и те, кто сохраняет будущее потомство (беременных и детей), стариков, имеющих богатый жизненный опыт.



Каннибализм черной нитью проходит через историю человечества. Некоторые считают, что поедание себе подобных часто происходило по «духовным» побуждениям: съесть лучшего – значило принять в себя его достоинства. И все же прав советский ученый Б. Медников, который подчеркивал, что «не людоедство, а альтруизм сделал человека человеком».

Ряд особенностей в биологии и поведении человека становится более понятным, если изучить образ жизни наших предков. Жизнь на деревьях была одним из немногих способов существования, при котором сокращение числа одновременно рождающихся детенышей повышает возможности приспособления и сохранения вида.

Происхождение приматов во многих отношениях все еще неясно. Предполагается, что приматы произошли от древних насекомоядных млекопитающих. Достоверные находки древнейших приматов в Европе и Северной Америке относятся к палеоцену.

Ранние приматы и их потомки, которые претерпели существенные изменения, образуют подотряд полуобезьян. Упадок этой группы связан, вероятно, с конкуренцией быстро развивающихся грызунов (начиная с эоцена), а также с прогрессом их родственников – высших антропоидов.

Еще в начале палеогена (палеоцен – эоцен) группа приматов разделяется на две основные ветви: одна ведет к так называемым широконосым обезьянам, а другая – к узконосым, которые дают начало гоминидам. Интересно отметить, что современные человекообразные обезьяны не являются прямыми предками человека, хотя очень близки к нему и появились раньше (30 млн. лет назад). В ходе эволюции полуобезьяны дают начало высшим человекообразным обезьянам. Одна часть последних закладывает родословную современных шимпанзе и горилл, а другая дает начало особой ро-

дословной линии, которая ведет к человеку.

Олигоценовая эпоха (36–22 млн. лет назад) характеризуется важным разветвлением в эволюции приматов. Об этом свидетельствуют богатые ископаемые находки возле Эль-Фаюма к югу от Каира (Египет). Сегодня это пустынная область, но в олигоцене здесь были обширные тропические леса, в которых жило множество обезьян, похожих на современных антропоидов или низших обезьян. Из них особенно интересен парапитек (предобезьяна), который дал начало узконосым низшим обезьянам. Эолопитек (ветряная обезьяна) дал начало обезьянам группы гиббонов, а египтопитек (египетская обезьяна) стал предком высших обезьян (шимпанзе и гориллы). Некоторые считают, что проплиопитек является предшественником наиболее развитых обезьян и самым ранним звеном в родословной человека. Во всяком случае, ясно, что проплиопитеки представляют шаг вперед в эволюции и являются прародителями плиопитека (наиболее развитой обезьяны). Плиопитеки становятся родоначальниками триопитеков – группы обезьян, которые имеют одинаковую с человеком основную схему строения нижних коренных зубов. Многие ученые считают триопитека формой, очень близкой к человеку (жил 20–8 млн. лет назад). Многие специалисты считают, что ближе к человеку был так называемый Африканский проконсул, костные останки которого найдены в Кении. Эта обезьяна передвигалась на четвереньках и имела достаточно примитивный, но относительно большой мозг по сравнению с размерами тела.

В миоценовый период наступает ряд изменений в палеогеографической картине Земли. Происходит и похолодание климата. Одно из важнейших изменений с точки зрения эволюции приматов – увеличение площади открытых степных пространств (саванны). Появление саванн открыло новые возможности для эволюции различных млекопитающих, но особенно сильно оно сказалось на эволюции лошадей и приматов. Некоторые приматы, среди которых были и предки че-

ловека, быстро приспособились к изменившейся окружающей среде, которая открыла перед ними новые горизонты.

Почти все ученые единодушно считают, что древнейшим предшественником человека был рамапитек (часто называемый некоторыми авторами кениапитеком). Его останки обнаружены в Северо-Западной Индии и Восточной Африке. Зубы рамапитека явно человеческого типа, расположены подковообразно, клыки небольшие, а задние коренные зубы в отличие от зубов антропоидов почти одного размера с передними.

Рамапитек (названный по имени индийского бога Рамы) отмечает очень важную точку в эволюции родословной приматов, когда разделяются пути высших приматов и той ветви, которая ведет к человеку. Эта обезьяна жила 16–12 млн. лет назад.

Следующий этап в родословной человека начался 6–4 млн. лет назад. Тогда в Азии и Африке жило несколько видов высших человекообразных обезьян. В двух областях Восточной Африки обнаружены останки рода *Australopithecus* (австралопитек или южная обезьяна). Следы этих ближайших к человеку высших приматов обнаружены и в более молодых отложениях (2 млн. лет) у озера Рудольф (Кения), откуда известны и самые древние представители австралопитеков возрастом 5,5 млн. лет, встреченные также в ущелье Олдовай (Танзания) и в Южной Африке. В зависимости от строения скелета австралопитеков разделяют на две группы: изящные (грациозные) и массивные.

Австралопитеки были уже «почти людьми» не только по внешнему виду. Эти существа могли производить орудия труда, хотя и самые примитивные. А производство орудий труда стало важнейшим поворотным пунктом в эволюции человека. Однако в то время определяющую роль играли еще биологические факторы.

Ряд видных специалистов, среди которых Л. и Р. Лики, считают, что австралопитеки развивались отдельно от истинного человека, который был их современником. Все линии австралопитеков, а

их было не менее трех-четырёх, вели в ту пик. «Они процветали,— пишет Р. Лики,— известное время, а потом исчезли как неудачная боковая ветвь, уступив место человеку».

В 1959 г. научный мир был взволнован открытием Луиса и Мэри Лики. При раскопках в ущелье Олдовай (Танзания) они обнаружили останки древнего существа, которое назвали зинджантропом (зиндж — арабское название Африки; африканский человек). Возраст — 1 млн. 750 тыс. лет. Вскоре М. Лики делает новое открытие: в более древних слоях обнаружен скелет прачеловека, которого назвали презинджантропом. Мозг этого существа был объемом 670–680 см³, т. е. больше, чем у австралопитека. Возраст — 2 млн. лет. В пластах, где обнаружен скелет презинджантропа, найдены и грубые орудия труда — главный показатель начала очеловечивания.

Когда я работал над этой книгой, мне в руки попала новейшая статья Мэри Лики, жены знаменитого Луиса Лики. Статья называется «Следы в пепле времени». В ней рассматриваются результаты новейших палеоантропологических открытий в Африке — этой древней прародине человека современного типа. Новые открытия сделаны в области Летолил на плато близ знаменитого национального парка Серенгети (Северная Танзания). В этой области 3,6 млн. лет назад действовал вулкан Садиман, который многократно засыпал пеплом окрестности.

«До первого засыпания вулканическим пеплом,— пишет М. Лики,— равнина Летолил, очевидно, была покрыта обычной растительностью. Но после того, как вся местность была засыпана безжизненным серым пеплом и обломками камней, животные продолжали бродить по ней, следуя своими обычными маршрутами...»

В слоях пепла ученые открыли следы различных животных, в том числе и две цепочки следов человекоподобных существ. Вторая из них представляет собой тропу длиной 23 м. На тропе обнаружены следы двух человекообразных существ — крупного и поменьше.

«Иногда во время раскопок,— пишет

М. Лики, — я выхожу посмотреть, как спускается вечер на серый туф с его удивительной «книгой», рассказывающей о давно минувших временах...»

Находки в Летолиле имеют возраст 3,6 млн. лет. Останки костей все еще полностью не изучены. Но и сегодня М. Лики считает, что обнаруженные человекоподобные существа очень напоминают знаменитую Люси — скелет женского индивида из Афара (Эфиопия) возрастом 3,1 млн. лет.

Очевидно, мы становимся свидетелями нового замечательного открытия высокоразвитой формы, жившей 3–3,6 млн. лет назад. По мнению видного советского антрополога М. И. Урисона, существа из Афара и Летолила, вероятно, дали начало двум родословным ветвям: первая вела к грациозным (изящным) австралопитекам и от них к их массивным собратьям и потомкам. Эта ветвь является тупиковой; вторая ветвь — истинная родословная человека, начавшаяся 3–3,5 млн. лет назад.

«Через пропасть времен, — пишет

М. Лики, — я могу пожелать им успехов на этой исторической тропе. Это было началом грандиозного и опасного путешествия, которое через миллионы лет проб и ошибок эволюции, несчастий и успехов привело к сегодняшнему дню».

Когда я читал статью Мэри Лики — женщины, с чьим именем связаны самые удивительные открытия в родословной человека, женщины, открывшей тропу, которой шел человек миллионы лет назад, — мне вспомнилось стихотворение Благы Димитровой «Родословная» — изящный поэтический ответ на вечный вопрос о наших корнях и исконной надежде на то, что нам предстоит интересный путь:

Начну с вершин происхождение —
Источники и птиц создам,
В слезах звезды дам отраженье,
И в зной я свежий воздух дам.
Земля передо мной открыта,
Меня там встречный ветер ждет.
Ищу путей я неизбитых
И неизведанных высот.



РАННЕЕ УТРО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

За последние два десятилетия научные представления об эволюции приматов и возникновении человека претерпели коренные изменения. Корни человека все более уходили в глубину времен: 800 тыс. лет, 1,75, 2, 3, 4 млн. лет. Открытия сыпались как из рога изобилия, и учебники пятидесятых и шестидесятых годов быстро устарели. Это было результатом неустанных поисков многих антропологов, и прежде всего семейства Луиса и Мэри Лики и их сына Ричарда в Африке. Усилиями многих ученых разных стран построена теория происхождения человека (антропогенеза). Это англичане Л. и М. Лики, Дж. Нейпир, Ле Гро Кларк, советские ученые Я. Я. Рогинский, В. В. Бунак, М. И. Урисон, В. П. Якимов, американский антропо-

лог У. Хауэлса, француз Фр. Борд и многие другие, которые непрерывно добавляли новые штрихи к портрету наших далеких предков. Сохраняет свое значение мысль В. Г. Белинского: «Человек всегда был и будет самым любопытным явлением для человека».

Впервые биологическая теория происхождения человека была разработана Дарвином. Еще в начале своей деятельности (1837–1838) он отмечал: «Если дать простор нашим предположениям, то животные — наши братья по боли, болезням, страданиям, голоду и смерти, наши соратники в тяжелейшем труде, наши друзья в удовольствиях — все они, быть может, ведут свое происхождение от одного, общего с нами предка...» Позднее Дарвин публикует фундаментальные

работы «Происхождение человека и половой отбор» и «О выражении эмоций у человека и животных» (1871–1872). Немецкий ученый Э. Геккель отмечает, что в ходе эволюции между обезьяной и человеком должна была существовать переходная форма, «недостающее звено», названное им питекантропом (обезьяночеловеком). В 1891 г. голландский антрополог Э. Дюбуа открыл на острове Ява части скелета человекоподобного существа, которое он назвал питекантропом с острова Ява.

Установлено, что питекантроп был значительно более совершенным, чем австралопитек, его рост достигал 165–170 см, он обладал мозгом объемом 850–900 см³, имел выпрямленную походку.

В 20-е годы нашего века был открыт так называемый синантроп (китайский человек), который жил одновременно с питекантропом, но объем его мозга был несколько больше. Вместе с останками синантропа найдены разнообразные орудия труда из кварца, кварцита, кремня, оленьих рогов и т. п. Он употреблял мясную пищу. Раскопки показали, что синантроп пользовался огнем.

Маркс и Энгельс доказали определяющую роль труда в эволюции человека. Ленин подчеркивал: «В действительности «зоологический индивидуализм» обуздан не идеей бога, его обуздали и первобытное стадо, и первобытная коммуна». Это исключительно важное замечание о значении группового, социального фактора в превращении обезьяны в человека.

Очевидно, что австралопитековые приматы и человекоподобные существа из Летолила и Афара (Восточная Африка) стоят ближе всех к человеку и дают начало его родословной. Превращение обезьяны в человека, стада в общество было длительным и сложным процессом, продолжавшимся миллионы лет. По мере постепенного уменьшения влияния чисто биологических закономерностей в эволюции усиливается роль социальных факторов. Австралопитеки и человекоподобные существа из Летолила и Афара внесли свой достойный вклад в эволю-

цию, у них отмечаются: 1) устойчивый прогресс в увеличении размеров мозга; 2) изменение таза, которое позволяет перейти к прямохождению; 3) развитие рук, производящих примитивные орудия. Энгельс писал, что «ни одна рука обезьяны не изготовила ни одного, пусть самого примитивного каменного ножа». Именно производство орудий труда и переход критической границы объема мозга в 750 см³ (это минимально необходимый объем для перехода к образному мышлению и возникновению речи) являются единственными критериями перехода от рода *Australopithecus* к роду *Homo* – человек.

До начала 1920-х годов считалось общепринятым, что древнейшим представителем человека был питекантроп, живший на Яве и в Китае 800 тыс. лет назад. Открытия Л. и М. Лики в Танзании, как и ряд других находок в Эфиопии и Кении, показали, что род человека начинается от восточноафриканского вида *Homo habilis* (человек умелый), древнейшие достоверные представители которого имеют возраст 2,6 млн. лет. Это упоминавшийся президжантроп Лики. Хабилис, бесспорно, древнейший обезьяночеловек, он древнее и примитивнее питекантропа. К этому виду относят находки из Коби-Фор (Кения) с возрастом 2,6 млн. лет и из долины реки Омо (Юго-Западная Эфиопия) с возрастом 2 и 4 млн. лет. Вероятно, этот вид можно обнаружить и в других областях Африки, а также в Азии и Европе. Больше всего останков хабилиса обнаружено в ущелье Олдовай в отложениях возрастного интервала 1,75–1,85 млн. лет. *Homo habilis* представлял собой двуногое существо ростом 122–140 см и с объемом мозга 656 см³, т. е. большим, чем у австралопитека, но меньшим по сравнению с питекантропом. Рука хабилиса, как и рука человека, была способна к сильным хватательным движениям. Будучи еще несовершенной, она уже могла производить грубые каменные орудия. Об этом свидетельствуют находки в отложениях первой серии в ущелье Олдовай.

Homo habilis, бесспорно, самый древний достоверный предок человека, но он



О. Роден. Тайна. Руки — основа трудовой и художественной деятельности человека

все же не был типичным человеком. Его анатомическое строение очень примитивно, создаваемые орудия весьма элементарны, а объем мозга ниже критической границы (750 см³).

На смену хабилисам идут так называемые архантропы, представленные яванским питекантропом, синантропом, гейдельбергским человеком и рядом других форм, обнаруженных в Европе, Азии и Африке. Между этими древними существами имеются морфологические или хронологические переходы. Вот почему они были объединены известным антропологом Ле Гро Кларком (1964) под одним наименованием – *Homo erectus* (человек прямоходящий). С зоологической точки зрения это один полиморфный вид (или комплекс видов).

Открытие Дюбуа яванского питекантропа – «недостающего звена» в родословной человека – было истинным триумфом материалистической науки.

Древнейшие представители *Homo erectus* – первые яванские питекантропы возрастом 1,5–1,9 млн. лет. Объем их мозга составлял 800 см³. Большинство яванских питекантропов имеют возраст 0,5–1 млн. лет. Средний объем их мозга составлял 860 см³ с колебаниями у отдельных индивидов от 775 до 975 см³. Останки этих существ обнаружены под слоем вулканического пепла, и поэтому при них не обнаружены орудия. Однако уровень развития яванского питекантропа указывает на возможность изготовления им орудий.

Наиболее известными и богатыми находками архантропов вне Индонезии и Восточной Африки являются находки синантропа (китайского питекантропа – *Homo erectus*). Они были сделаны в 50 км к юго-западу от Пекина, у села Чжоу-Коудян. По своей морфологии синантроп довольно близок к яванскому питекантропу, но несколько более развит. Средний рост мужских особей достигал 162–163 см, а женских – 152 см; объем мозга – от 915 до 1225 см³ (в среднем – 1050 см³). Синантроп был одним из наиболее развитых представителей *Homo erectus*, он жил 500 тыс. лет назад, а по некоторым данным – 200–300 тыс. лет на-

зад. Важнейшим элементом бытовой культуры синантропа кроме производства различных орудий был огонь. В других местонахождениях, в частности в ущелье Олдовой, следы пользования огнем не установлены ни в пластах с *Homo habilis*, ни в пластах с олдовайским питекантропом. В Чжоу-Коудян обнаружены четкие следы огня – угли, пепел, обгоревшие камни. Имеются все основания утверждать, что 500 тыс. лет назад человек уже поднял факел над головой и понес его вперед – к прогрессу.

В Европе известны четыре находки *Homo erectus*, наиболее известной из которых является гейдельбергский человек. Одна из них – челюсть, обнаруженная в 1907 г. и принадлежавшая архантропу, жившему в гюнц-миндельский межледниковый период (около 500 тыс. лет назад).

Крупные находки архантропов сделаны в Северной, Восточной и Южной Африке. Это – атлантроп (Алжир), олдовайский питекантроп (Восточная Африка), телантроп (Южная Африка). Древнейшей из них является телантроп, который рассматривается как переходная форма от *Homo habilis* к *Homo erectus*. Телантроп жил одновременно с поздними австралопитеками и хабилисами.

Архантропы (*Homo erectus*) внешне были очень похожи на современного человека, хотя и отличались некоторыми существенными чертами: сильно выступающей ротовой частью, низким и покатым лбом, плоским небольшим носом. По сравнению с хабилисами архантропы значительно более развиты. Объем их мозга в среднем составлял 1000 см³. Усложнилась и структура мозга, в котором увеличение коры больших полушарий становилось неравномерным. Особенно быстро развивались некоторые участки в теменной области и в той части коры, которая связана со специфическими функциями словесного общения и труда. На хорошо сохранившейся внутренней поверхности черепа яванского питекантропа наблюдается асимметрия борозд головного мозга. В левом полушарии лобная часть мозга имеет более выраженный гоминидный характер, что, вероятно,

обязано более сильному развитию правой руки. Эта типично человеческая черта, связанная с производством орудий, еще сильнее выражена у синантропа.

В эволюции мозга древних людей происходит усиление специфических гоминидных областей, связанных с трудом, понятийным мышлением и членораздельной речью, которые наиболее развиваются на следующей ступени человеческого рода.

Средний рост архантропов был различен в различных областях обитания. У синантропов он составлял около 150 см у женщин и 160 см у мужчин; на Яве жили более крупные питекантропы (175 см). Их руки были более развиты по сравнению с хабилисами, но все еще далеки от

совершенной человеческой руки. В процессе эволюции высших приматов развились три особенно важные черты: выпрямленная походка, развитые для умелой работы руки, относительно большой головной мозг. Главным отличием человека стал труд. Закономерный ход эволюции привел к постепенному переходу от обезьяны к человеку. Это произошло путем активного приспособления к изменяющимся условиям среды. Прародиной человека, бесспорно, является Африка, но в процессе эволюции его родиной становятся и различные области Азии и Южной Европы. Может быть, лучше всего выразил это А. Брейль, сказав, что колыбель человечества была на колесах.



ЗАГАДКА НЕАНДЕРТАЛЬЦА

Во многих областях Европы, Африки, Азии и Индонезии обнаружены останки древних людей (палеоантропов), живших 20–30 тыс. лет до н. э., тогда как человек современного типа появился за 50–60 тыс. лет до них. Следовательно, неандертальцы в последние годы жили среди людей современного типа – наших прародителей кроманьонцев. Их исчезновение загадочно.

Неандертальцы (*Homo neanderthalensis*) занимают переходное место между древнейшими людьми (архантропами типа *Homo erectus*) и первыми представителями *Homo sapiens* – кроманьонцами. Их название происходит от пещеры Неандерталь, расположенной возле Дюссельдорфа (ФРГ), где впервые были обнаружены их останки.

Неандертальцы при росте 155–165 см имели пропорции тела, близкие к современному человеку. Ладони рук были широкими. Лоб был низким и слегка покатым, сильно выдающиеся брови, широкое лицо. Мозг так называемого классического неандертальца имел объем около 1300–1600 см³, хотя форма черепа

отличалась от черепа современного человека. Интересно, что ранние формы (так называемый прогрессивный неандерталец) имеют более неантропные (сапиентные) черты, чем более поздние классические неандертальцы.

В коре головного мозга у неандертальцев были сильно развиты центры, имеющие связь с логическим мышлением. До настоящего времени известно более 400 находок костей неандертальцев в Европе, Африке, Азии и Индонезии, вместе с ними обнаружены и десятки тысяч каменных орудий. Это свидетельствует о достаточно высоком уровне развития древних людей: орудия неандертальцев были весьма разнообразны; они организовывали коллективную охоту; их жилища были достаточно сложно устроены. Одним из самых сенсационных открытий, связанных с жизнью неандертальцев, была находка несколько лет назад погребения в пещере Шанидор (Индия), которое носит явные следы ритуального обряда: труп был покрыт множеством цветов. Анализ спор и пыльцы цветов показал, что это известные и

Таблица 6. Подразделения четвертичного периода

Геологические подразделения	Датировки по изотопным данным, годы	Археологические подразделения
Послеледниковая эпоха	1200	Железный век
	3500	Бронзовый век
	5500	Халколит (медный век)
	6500–8500	Неолит (новый каменный век)
	12 000	Мезолит (средний каменный век)
Вюрм	80 000	Палеолит (древний каменный век)
Рисс-Вюрм	125 000	
Рисс	250 000	
Миндель-Рисс	425 000	
Миндель	475 000	
Гюнц-Миндель	550 000	
Гюнц	600 000	
Виллафранк	2 млн.	

Примечание. Интервалы времени – без масштаба. Датировки до возраста 40 000 лет получены по изотопу ^{14}C , а более древние – по калий-аргоновому методу.

сегодня виды лекарственных растений. Не был ли знаком неандерталец с целебными свойствами этих растений? Имеются все основания предполагать, что у неандертальцев началось развитие членораздельной речи.

Неандертальцы весьма неоднородная группа. Кроме так называемых классических и прогрессивных неандертальцев из Европы известно несколько других их ветвей, например родезийский человек, человек с реки Соло (о. Ява). У всех неандертальцев более древние формы имеют более прогрессивные черты, нежели поздние. Именно ранние (прогрессивные) неандертальцы дали прямое родословное начало сапиенсам.

Многие ученые считают, что первые неандертальцы были нейтральными в отношении расы. При расселении и интеграции популяций произошло приспособление к условиям занимаемой области и возникли расы. Следова-

но, расовые черты – адаптивные (приспособительные), а не коренятся в различных родословных. Но не следует считать, что все признаки рас адаптивны. Известно, что у американских индейцев отсутствует группа крови В. Вероятно, ген В был замещен геном О в результате случайных процессов в периферической части ареала при миграции монголоидов из Азии через Камчатку и Чукотку в Америку. Все современные люди относятся к одному виду – *Homo sapiens* и имеют общее происхождение.

Согласно Л. Лики, разделение родословной рода *Homo* произошло в раннем плейстоцене и плиоцене (2–3 млн. лет назад), в результате чего образовались две родословные линии: одна ведет к современному человеку (через прогрессивных неандертальцев), а другая завершается питекантропами и классическими неандертальцами.

Но что случилось с неандертальцами?

Известно, что классические (поздние) неандертальцы были гораздо сильнее физически, что принесло им успех в борьбе за существование с прогрессивными неандертальцами. Последние были физически слабее, но имели более сильную организацию, которая привела к современным людям. Неандертальцы создали своеобразную культуру – так называемую мустьерскую культуру каменного века (150–40 тыс. лет до н. э.).

Один известный антрополог остроумно заметил, что неандерталец эпохи шапель (100–60 тыс. лет до н. э.) мог бы спокойно окончить современный колледж, тем более что по своим манерам и прическе он не особенно выделялся бы среди других студентов. Однако у неан-

дертальцев были слабее развиты психосоциальные черты. Кроме того, из-за существования малыми группами близкородственные браки привели к постепенному снижению жизнеспособности вида.

Морфологические особенности неандертальского человека представляют его как существо, недостаточно приспособленное к социальной жизни из-за подчеркнутой агрессивности и слабо развитых мозговых центров, играющих сдерживающую роль в поведении.

Огромную роль в исчезновении неандертальцев сыграли представители современного человека, которые благодаря своей социальной организации смогли быстрее разрешить противоречия, стоявшие тогда перед человеческим родом.



ПОЯВЛЕНИЕ РАЗУМНОГО ЧЕЛОВЕКА

Древнейший «сапиентный» палеоантроп – так называемый человек из пещеры Кафзах (Израиль) – жил 70 тыс. лет назад. Это переходный тип к современному человеку – *Homo sapiens* (человек разумный). Древнейшие останки сапиенса (неоантропа) известны в Южной Африке (60 тыс. лет) и на реке Ниа, о. Калимантан (40 тыс. лет), а первые находки в Европе имеют возраст 35–38 тыс. лет. Впервые останки неоантропа были обнаружены в 1868 г. в пещере Кроманьон (Франция), откуда идет название первых представителей сапиенсов – *Homo sapiens fossilis*. Кроманьонец имеет все черты человека современного типа: рост 180–187 см, объем мозга до 1600 см³. Находки кроманьонца известны и в нашей стране, но их история не относится к предмету данной книги.

Исключительным преимуществом кроманьонца (неоантропа) перед неандертальцем была его трудовая деятельность. Именно это сделало жизненно необходимым объединение усилий отдельных индивидов в защите, охоте, труде. Нужно было сохранять не только

детей – будущее, но и старых людей – сокровищницу жизненного опыта. Постепенно складывались новые отношения, вырисовывались преимущества жизни в коллективе. Рождалось человечество.

У *Homo sapiens* развиты такие свойства, которые создали высочайшую степень социальности человека. Это позволило ему быстро развить высокую материальную культуру, усовершенствовать речь и положить начало искусству. Само искусство как общественный вид деятельности оказало серьезное влияние на эволюцию человека, потому что в искусстве происходит ярчайшее сочетание труда, мышления и речи. Великолепные рисунки кроманьонцев (30–10 тыс. лет до н. э.) все еще удивляют нас изяществом линий и ярким осмысленным наблюдением животных, что выражается в выдающейся силе и энергичности рисунка.

Возникновение современного человека характеризуется исключительным духовным и психическим развитием, которое вывело эволюцию человека из рамок чисто биологической эволюции и поставило его под власть социальных законов.



O. Pader. Mikamene.

В своей истории человечество имеет великие достижения, два из которых оказали и оказывают исключительное влияние на его развитие: 1) неолитическая революция – одомашнивание животных и разведение культурных растений – освобождает человека от полной зависимости от окружающей среды. Эта зависимость остается, но приобретает другой характер – человек с помощью труда может снабжать себя пищей и направлять некоторые природные процессы; 2) научно-техническая революция XX в., в результате которой человек получил в свои руки огромные силы. Как будут использованы эти силы, зависит от социальной организации и разума человечества.

С появлением человечества наступает новый этап в эволюции, названный «ноосферой», в которой властвует человек. На новом этапе значительно ослабляется влияние биологических факторов на эволюцию, но человек остается живым существом, введенным в ноосферу биологической эволюцией, и ее законы, хотя и в ослабленной форме, продолжают на него воздействовать. На нынешнем этапе естественный отбор играет стабилизирующую роль в биологической организации человека.

Сильнее всего на человека действует мутационный процесс. Мутации и генетические комбинации поддерживают уникальный характер любого индивида. Вследствие загрязнения окружающей среды количество мутаций может повыситься.

По-видимому, единственным биологическим фактором, который потерял свое значение в эволюции человечества, является изоляция. Революция производства, начавшаяся при капитализме, порождает гигантское столпотворение людей, провоцирует постоянную миграцию (не говоря уж о современном туризме!). Все это ликвидирует мелкие изолированные общности и в целом имеет большое значение для обогащения генофонда человечества.

«Волны жизни» – известный фактор эволюции, который в прошлом играл большую роль: вспомним пандемии чумы, холеры, гриппа. В наше время численность человечества постепенно растет, но предполагается, что к середине следующего века она стабилизируется.

Появление разумного человека означает качественный скачок в переходе от биологической эволюции к социальной истории.



Огненно-красный шар солнца закрывается стоящей напротив вершиной, и вечерние сумерки медленно спускаются на призрачные окрестности. В моей памяти всплывает стихотворение Ламартина:

Куда уходишь ты,
Светило огнецветное?
И ночь, и облака, и дым,
И пена на волнах, и прах,
И времена мои заветные,
Куда летите вы, куда мы все летим?

В наступающей вечерней тишине слышнее становится шум реки, устремляющей вперед свои воды. В этой части река горная, и в ее стремительном течении блещет много порогов и каменных глыб. Образуется множество водоворотов и омутов, некоторые струи даже слегка движутся назад. Непрерывное течение реки напоминает мне эволюцию – вечно, как и река, устремленную вперед. На ее пути также возникает много порогов, откуда-то вырастают почти непреодолимые преграды – они немного уменьшают скорость течения, отклоняют в стороны мелкие «струи», а иногда даже оборачивают их вспять. Но главный поток эволюции, как река, всегда устремлен вперед и движется с ускорением.

Ускорение (акселерация) – отличительная черта эволюции; впервые это было подчеркнуто академиком А. И. Опариним.

После возникновения жизни на Земле ее эволюция характеризуется тенденцией к постепенному ускорению. От возникновения первых живых существ (около 3,5 млрд. лет назад) до первого массового развития многоклеточных в вендскую эпоху прошло более 2,5 млрд. лет. Для достижения огромного разнообразия животных и растений было необходимо около 400 млн. лет, для развития млекопитающих и птиц – около 100 млн. лет, приматов – около 60 млн. лет, гоминид –

около 16 млн. лет, для рода человека – 6 млн. лет, для *Homo sapiens* – 60 тыс. лет.

Древний каменный век (палеолит) продолжался столько же, сколько последующие неолит, бронзовый и железный века. Современная наука зародилась около 300 лет назад. Весь ход развития свидетельствует об ускорении.

Швейцарский инженер и философ Г. Эйхельберг весьма образно описывает темпы прогресса человечества:

«Предполагается, что возраст человечества 600 тыс. лет¹. Представим себе движение человечества как марафонский бег на 60 километров.

Большая часть 60-километрового расстояния проходит по очень трудному пути – через девственные леса. Мы мало знаем эту часть, так как лишь в конце, на 58–59-м километре бега, встречаем вместе с первобытными орудиями рисунки пещерных людей как первые признаки культуры и едва лишь на последнем километре пути появляется все больше признаков земледелия.

За двести метров до финиша дорога уже покрыта каменными плитами, мы минуем римские крепости.

За сто метров до финиша наш бегун пробегает через средневековые города.

До финиша остается еще 50 метров; там стоит человек, который умными и понимающими глазами следит за бегом, – это Леонардо да Винчи.

Остается только 10 метров! Они начинаются при свете факелов и при скудном свете масляных светильников.

Но при стремительном рывке на последних 5 метрах происходит чудо: свет заливает ночную дорогу, машины шумят на земле и в воздухе и пораженный бегун ослеплен прожекторами фото- и телекорреспондентов».

¹ До 1920-х годов считалось, что человек появился 600–700 тыс. лет назад.

Эйхельберга тревожит этот стремительный бег. Он спрашивает – неужели стремительное движение человечества к научно-техническому прогрессу может оказаться движением к его гибели?

Беспорно, что развитие человечества определяется другими законами, отличными от законов биологической эволюции. Но эволюция жизни и неживой природы в геологическом прошлом – процесс диалектический, которому настоящее обязано своим существованием. На долгом пути жизни сквозь глубины времени можно обнаружить поразительную связь между обитателями Земли и преемственностью развития климата и ландшафта, периодами небывалого расцвета и эпохами гибельных испытаний. Но жизнь никогда не останавливалась, не исчезала, потому что движение было ее спасением и ее будущим.

Современная среда, в которой мы живем, изменяется с исключительной скоростью; сейчас за десятилетия происходят изменения, которые в прошлом происходили за миллионы лет. Из истории эволюции хорошо известно, что стало с существами, которые не смогли или не успели приспособиться к новым условиям.

Человек по природе оптимист, он гордится своими достижениями, но не следует забывать, что законы природы влияют и на него. Человечество может сознательно и целесообразно воздействовать на окружающую среду. Но чтобы это осуществить, необходимо резко повысить точность прогноза. А никакие долгосрочные прогнозы невозможны без глубокого познания и осмысления прошлого, долгой предшествующей эволюции. История последней обнаруживает определенные закономерности, которые имеют значение и для нашего собственного развития. Их познание является первым шагом в разработке долгосрочных прогнозов.

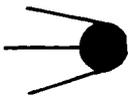
Ускорение является общей закономерностью в развитии. Но с ним связана и цефализация, современным достижением которой является человеческий мозг. Он должен обеспечить господство разума над безумием.

Неужели непрекращающееся нарастание темпа развития приведет к гибели? Можно ли предвидеть будущее человечества?

Ускорение ведет не к гибели, а к прогрессу. В этом закономерность эволюции. Будущее человечества – в организации справедливого коммунистического общества, основанного на достижениях науки, техники и культуры. Это будущее обеспечит новые культурные принципы, новое знание и новое отношение к природе.

В своей новейшей книге о происхождении человека Р. Лики отмечает, что «грехопадение» человека произошло около 10 тыс. лет назад, когда он начал овладевать и застраивать землю, накапливать имущество и стремиться к власти. Именно тогда его способности начали извращаться. «Таким способом, – пишет Лики, – целенаправленная агрессивность способна сегодня с нарастающим темпом привести к опасности самоуничтожения человечества в атомной войне». Трагическим может оказаться не ускорение развития, не проявление свойств, унаследованных от древних предков – животных, а качества, приобретенные в ходе общественной истории. Вот почему в эпоху империализма все большее беспокойство вызывают научно-технические достижения.

Древнегреческий философ-материалист Эмпедокл сказал: «Разум людей возрастает по мере познания мира». Никогда нельзя забывать, что человек – первое дитя эволюции, которое поняло, что такое эволюция, и которое способно определить ее дальнейший ход.



НА КОРАБЛЕ — К ЗВЕЗДАМ

Читатель может спросить: неужели было необходимо такое долгое путешествие назад во времени, к моментам возникновения жизни 3,5 млрд. лет назад до появления современного человека? Да, это необходимо. Мы обязаны часто обращаться назад, чтобы суметь правильно оценить перспективу. Сегодня человек устремился к другим мирам, и это — общая закономерность эволюции. Новые миры всегда открывали новые возможности, новые горизонты развития. Освоение новых миров всегда давало мощный толчок эволюции. Но прежде чем человек обратился к небу, он должен был твердо стать на землю, понять, где его корни, почувствовать свое место и свою ответственность и долгий путь, пройденный его предками.

Каково будущее человека как вида? Не заменит ли его на Земле новый, более разумный вид?

Любое развитие осуществляется по законам диалектики. С этой точки зрения мы не можем считать, что «самое разумное творение» эволюции на сегодняшний день *Homo sapiens* будет ее концом. Бесспорно, что организация человека каким-то образом дополнится и исправится. Возможно, мы будем лучше устроены: станем более умными, более человечными, более долговечными.

Меняется ли человек сегодня? Да, и лучшим примером этого является акселерация, обусловленная генетическими и социальными факторами.

Вероятно, в будущем, через тысячи и миллионы лет, наши потомки откроют новые пути развития. Нынешние космические герои будут тогда очень напоминать кистеперых рыб, которые 400 млн. лет назад под палящими лучами девонского солнца сделали первые шаги на сушу, осуществив величайшее после появления многоклеточных организмов открытие в эволюции. В истории последней не раз случалось, что организмы, собрав «познания» на суше, вновь возвращались

в свою колыбель — в воду. Это было характерно для земноводных, неоднократно происходило у пресмыкающихся (ихтиозавров, плезиозавров, крокодилов), млекопитающих (китов и дельфинов). Но вернувшиеся оказывались в более выгодном положении, они были более совершенны, с иной нервной организацией. Дельфины, например, высшая форма цефализации среди водных организмов.

Человек продолжает штурм космоса, а вернувшись на Землю, добивается все новых и новых успехов. Человек, освоив ближний космос, все еще остается (как земноводные) навсегда связан со своей колыбелью — Землей. На пути к далекому космосу может появиться новый человек — вид, отличный от *Homo sapiens*. Таков закон эволюции: новые миры могут освоить только существа с «новой конструкцией» — интегральным интеллектом, который носит наследственные черты своих предков.

Мы навсегда останемся связанными с Землей, от которой зависим. С присущей ему прозорливостью Энгельс писал: «Мы ни в коем случае не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом... наоборот, мы всей своей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и существуем в ней... Все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем ее познать и правильно применять ее законы». Потому что познание — это первый шаг к управлению.

Вспомним стихотворение английского поэта Джона Дона, которое звучит с особой поэтической силой:

Человек — не одинокий остров,
Потерянный, предоставленный самому себе,
Он — часть огромной общей тверди,
Капля малая великого океана.

Человечество имеет общий корень и живет на одной планете. Оно не может рассчитывать на то, что другие решат его проблемы, а должно само в единстве и

мире создавать свое будущее. Жизнь может быть уничтожена или попасть в гибельный кризис не только в результате атомной войны, которая как дамоклов меч тяготеет над нами, но также в результате невежества и равнодушия по отношению к нашему космическому кораблю—Земле. Что с ним станется—взле-

тит ли он к новым высотам или разобьется на старте?

В течение миллиардов лет эволюция избирала оптимальный выход из трудных ситуаций. Ее ход неудержимо стремится вперед, ее спираль развивается все выше— к торжеству разума и прогресса.

ЛИТЕРАТУРА

- БАЛАНДИН Р. Время. Земля. Мозг.—Минск: Высшая школа, 1979.
- БЕРНАЛ Дж. Происход на живота.—София: БАН, 1971.
- КАЛЬВИН М. Химическая эволюция.—М.: Мир, 1971.
- ОПАРИН А. И. Происход на живота.—София: Народна про-света, 1974.
- РУТТЕН М. Происхождение жизни.—М.: Мир, 1973.
- ХАРРИСОН Дж., УАЙНЕР Дж., ТЭННЕР Дж., БАРНИКОТ Н., РЕЙНОЛДС В. Биология человека.—М.: Мир, 1979.
- ФЛИНТ Р. История Земли.—М.: Прогресс, 1978.
- ФОКС С., ДОЗЕ К. Молекулярная эволюция и возникновение жизни.—М.: Мир, 1975.
- ЯБЛОКОВ А. В., ЮСУФОВ А. Г. Эволюционное учение.—М.: Высшая школа, 1976.
- ЭЙГЕН М. Самоорганизация материи и эволюции биологических макромолекул.—М.: Мир, 1973.
- DUNBAR С. О. Historical Geology, Sec. ed., N. Y., 1960.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора перевода	5
Предисловие	7
1. ВРЕМЯ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЧАСЫ	11
Годы – следы и документы	11
Время – символ движения	15
Геологические часы	17
Кораллы как геологические часы	23
Начало геологического летоисчисления	25
2. НАЧАЛО	31
Мучительная и сладкая загадка	31
Предпосылки возникновения жизни	38
Что показывают метеориты?	40
Органическое вещество в межзвездном пространстве	
Геологические условия на молодой Земле	42
Эволюция углеродных соединений на первичной Земле	49
3. ПЕРВЫЙ ШАГ СДЕЛАН	59
Окаменевшие записи ранней эволюции	59
От единства к многообразию	67
Нужна ли форма организмам?	73
Факторы и движущие силы эволюции	79
4. ВЕЛИКИЙ ПЕРЕЛОМ	83
Рубикон перейден	83
Беглая хроника одной великой эпохи	84
Великое разветвление	86
5. ЖИЗНЬ НАБИРАЕТ СКОРОСТЬ	89
Растения в авангарде эволюции	89
Десант на сушу	91
Чарующее богатство растительного мира	93
Расцвет морских беспозвоночных	96
Происхождение и развитие рыб	106
Второй десант на сушу	110
Открытие пресмыкающихся	111
Золотой век пресмыкающихся	118
Динозавры – блестящая неудача эволюции	122
Предшественники млекопитающих	126
6. ГЛОБАЛЬНЫЕ КРИЗИСЫ	133
Расцвет и гибель популяций	133
Печальные страницы каменной летописи	134
Тайна глобальных кризисов	140
7. РОДОСЛОВНАЯ ЧЕЛОВЕКА	143
Следы прошлого в теле человека	143
Трудный путь приматов	146
Раннее утро человечества	153
Загадка неандертальца	157
Появление разумного человека	159
8. БУДУЩЕЕ ДАЛЕКОГО ПРОШЛОГО	163
Ускорение эволюции	163
На корабле – к звездам	165
ЛИТЕРАТУРА	166

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Ваши замечания о содержании книги, ее оформлении, качестве перевода и другие просим присылать по адресу: 129820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д. 2, издательство «Мир».

Тодор Георгиев Николов
ДОЛГИЙ ПУТЬ ЖИЗНИ

Научный редактор Н. А. Никишина
Младший научный редактор А. В. Швыряева
Художник И. П. Козлов
Художественный редактор Л. М. Кузнецова
Технический редактор И. М. Кренделева
Корректоры, Н. Н. Яковлева, Н. А. Мистрюкова

ИБ № 5763

Сдано в набор 12.09.85. Подписано в печать 15.04.86.
Формат 70 × 100^{1/16}. Бумага офсетная № 1. Гарни-
тура таймс. Объем 5,25 бум.л. Усл. печ.л. 13,65.
Усл. хр.-отгт. 27,94. Уч.-изд. л. 13,83. Изд. № 5/4477.
Тираж 120 000 экз. (1^{ый} завод: 1—50000) Зак. 927.
Цена 90 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2.

Можайский полиграфкомбинат Союзполиграфпро-
ма при Государственном комитете СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли.
Можайск, 143200, ул. Мира, 93

Ускорение (акселерация) – отличительная черта эволюции. После возникновения жизни на Земле ее эволюция характеризуется тенденцией к постепенному ускорению.

От возникновения первых живых существ до первого массового развития многоклеточных в вендскую эпоху прошло более 2,5 млрд. лет, а для развития рода человека потребовалось всего 6 млн. лет, для *Homo sapiens* – 60 тыс. лет.

Древний каменный век (палеолит) продолжался столько же, сколько последующие неолит, бронзовый и железный века.

Наука зародилась около 300 лет назад.

Весь ход развития свидетельствует об ускорении.

Известный швейцарский инженер и философ Г. Эйхельберг весьма образно описывает темпы прогресса человечества:

«Предполагается, что возраст человечества 600 тыс. лет.

Представим себе движение человечества как марафонский бег на 60 км ...

Большая часть 60-километрового расстояния проходит по очень трудному пути – через девственные леса.

Мы мало знаем эту часть, так как едва лишь в конце – на 58–59-м километре бега – встречаем вместе с первобытными орудиями рисунки пещерных людей как первые признаки культуры и едва лишь на последнем километре пути появляется все больше признаков земледелия.

За 200 м до финиша дорога уже покрыта каменными плитами – мы минуем римские крепости.

За 100 м до финиша наш бегун пробегает через средневековые города.

До финиша остается еще 50 м; там стоит человек, который умными и понимающими глазами следит за бегом, – это Леонардо да Винчи.

Остается только 10 м!

Они начинаются при свете факелов и при скудном свете масляных светильников.

Но при стремительном рывке на последних 5 м происходит чудо: свет заливают ночную дорогу, шумят машины на земле и в воздухе и пораженный бегун ослеплен прожекторами фото- и телекорреспондентов»...



Издательство
«МИР»