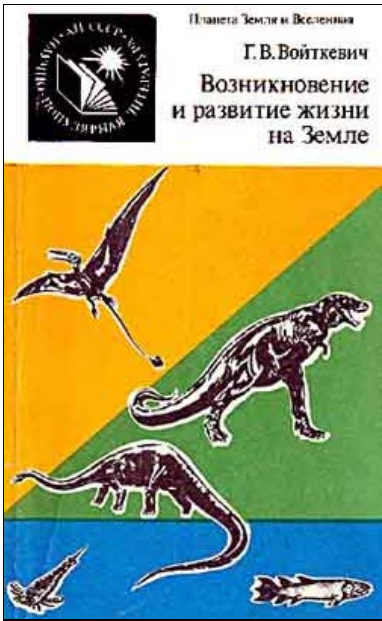




Г.В.Войткевич

Возникновение и развитие жизни на Земле

Ответственный редактор доктор геолого-минералогических наук

А. И. ПЕРЕЛЬМАН

Москва "Наука" 1988

Содержание

- [Предисловие](#)
 - [Современная биосфера Земли и ее население](#)
 - [Древность жизни на Земле](#)
 - [Органические соединения в космосе](#)
 - [Космическая история углеродных молекул](#)
 - [Возникновение биосферы и главные черты ее развития](#)
 - [Эволюция приматов и человека](#)
 - [Заключение](#)
 - [Литература](#)
-

Предисловие

Проблема происхождения жизни актуальна в современном естествознании. По ней ведутся интенсивные исследования в различных научных центрах нашей страны и за рубежом. Огромное количество разрозненных эмпирических данных требует новых подходов, новых принципов обобщения. Проблема происхождения жизни является комплексной, и ее решение становится не под силу одному человеку. В процессе подготовки и написания этой книги автор хорошо усвоил слова выдающегося английского физика и натуралиста Дж. Бернала (1901—1971) о том, что любое решение проблемы происхождения жизни, предложенное отдельным человеком, каким бы образованным и талантливым он ни был, неизбежно будет пристрастным и уязвимым для критики, потому что оно будет основываться на идеях или предполагаемых фактах, относящихся частично к тем областям науки, с которыми он непосредственно незнаком.

Несмотря на то что над проблемой происхождения жизни работают преимущественно биохимики и специалисты в области молекулярной биологии, решение ее не может быть достигнуто без участия исследователей, которые заняты изучением среды возникновения и развития жизни, т. е. геологов, палеонтологов, геохимиков и др. Крайне необходимым является также привлечение данных современной космохимии.

В 1976 г. автор данной книги писал; "Основные предпосылки появления жизни на Земле были созданы в конце остывания первичной газовой туманности. На последних этапах остывания в результате каталитических реакций биофильных элементов образовались многочисленные органические соединения, обусловившие появление генетического кода и саморазвивающихся молекулярных систем.

Возникновение Земли и жизни представляло собой единый взаимосвязанный процесс — результат химической эволюции вещества Солнечной системы".

Успехи науки, появление новых эмпирических данных в геохимии, космохимии, экспериментальной биохимии виолне подтверждают это положение. Развитию Жизни на Земле посвящено много книг, в том числе и научно-популярных. Тем не менее последние открытия в области микропалеонтологии и геохимии изотопов позволяют заново описать увлекательную историю развития жизни на Земле. Это и воодушевило автора к написанию настоящей книги, в которой с новых позиций рассматривается проблема происхождения жизни,

Современная биосфера Земли и ее население

Да, несомненно, можно утверждать, что все страны света доступны для жизни. Озера с пресной водой, скрытые в недрах вулканических гор, источники горячих минеральных вод, глубины океана, верхние области атмосферы, поверхность самых вечных снегов — всюду мы находим организованные существа. *Ч. Дарвин*

Живые организмы совместно со средой обитания, с которой они неразрывно связаны путем обмена веществ и энергетически, образуют особую оболочку Земли — биосферу. Современная биосфера нашей планеты со всем ее населением явилась результатом длительной эволюции живого вещества и изменения всей окружающей среды.

Представление о биосфере впервые было освещено в трудах знаменитого французского натуралиста Ж. Б. Ла-марка (1744—1829). В геологические науки биосфера была включена по инициативе австрийского геолога Э. Зюсса (1834—1914). Однако грубокое учение о биосфере как качественно особой в энергетическом и геохимическом отношении оболочке Земли было развито в нашей стране выдающимся натуралистом В. И. Вернадским (1863—1945). В дальнейшем это учение пополнилось новыми идеями, разработанными А. П. Виноградовым, В. В. Ковальским, А. А. Полиновым, А. И. Пе-рельманом и другими, главным образом советскими, учеными.

Биосфера представляет собой сложнейшую организацию материи, в которой различные ее неорганические формы движения связаны с живым веществом. Миллионы видов организмов, существующих в биосфере, живут не сами по себе, а в закономерных ассоциациях многочисленных особей — биоценозах. По существу, зарождение первых живых организмов на нашей планете было появлением биоценозов. Иначе говоря, любая форма жизни связана с определенной средой, и, таким образом, проблема происхождения жизни есть проблема происхождения биосферы.

Для каждого организма обмен с внешней средой стал неременным условием его существования. По-видимому, всю биосферу нашей Земли следует понимать как ту часть ее материи, которая обменивается с живым веществом. По отношению к среде своего обитания все живые организмы подразделяются на автотрофные и гетеротрофные. К автотрофным организмам относятся те, источником питания которых служат неорганические минеральные вещества. Наиболее типичным процессом автотрофного питания является фотосинтез, когда с помощью солнечного луча создаются органические вещества из углекислого газа и воды окружающей среды. Для гетеротрофных организмов источник питания — готовые органические вещества. Нетрудно себе представить, что к автотрофным организмам относятся зеленые растения, а к гетеротрофным—животные. Однако следует отметить, что в биосфере существует небольшая часть микроорганизмов, сочетающих в себе автотрофный и гетеротрофный способы питания. Такую промежуточную форму организмов между растениями и животными представляют собой жгутиковые — эвглены, сохраняющие хлорофилл и обладающие автотрофным способом питания, а некоторые из них в зависимости от условий среды и освещения меняют автотрофный способ питания на гетеротрофный.

Большинство организмов современной биосферы относятся к аэробным, живущим в присутствии свободного кислорода атмосферы Земли; значительно меньшая часть, куда входят микроорганизмы,— к анаэробным, обитающим вне кислородной среды.

Живые организмы расселяются по условиям своего обитания в самых верхних слоях планеты: атмосфере, гидросфере, почве, осадочной оболочке — стратисфере. Организмы в биосфере образуют резко различные концентрации — от единичных бактерий и спор на кубометр атмосферного воздуха до мощнь1х тропических лесов экваториального пояса планеты и следов жизни в пучинах Мирового океана.

Совокупность живых организмов образует единое целое — живое вещество планеты, ее биомассу. Общее количество биомассы и ее распределение между сушей и морем, по данным советских ученых Н. И. Базилевич, Л. Е. Родина и Н. Н. Розова, представлено в табл. 1. Нетрудно видеть, что биомасса организмов суши (континентов) едва ли не в 800 раз превышает биомассу Мирового океана. Естественно заключить, что выход организмов на сушу в.. середине палеозойской эры привел к значительному увеличению всей биомассы Земли со всеми вытекающими биогеохимическими последствиями. В свое время В. И. Вернадский пришел к выводу о постоянстве биомассы в течение всей истории Земли. Однако этот вывод в настоящее время следует принимать весьма условно.

Таблица 1. Биомасса Земли

Среда обитания	Группа организмов	Масса, 10 ¹² т	Соотношение, %
Континенты	Зеленые растения	2,4	99,2
	Животные и микроорганизмы	0,02	0,8
	Всего	2,42	100,0
Океаны	Зеленые растения	0,0002	6,3
	Животные и микроорганизмы	0,003	93,7
	Всего	0,0032	100,0
	Всего	2,4232	

Поскольку условия для жизни в Мировом океане были наиболее благоприятными, можно считать, что гидросфера Земли отличалась постоянством биомассы на всем протяжении ее существования. В данном случае общее количество массы живого вещества определялось площадью поверхности Мирового океана — величиной, очевидно, изменчивой и зависящей от геологического развития земной коры.

Все организмы нашей планеты теснейшим образом связаны с водой. Как писал известный немецкий физиолог Р. Дюбуа (1818—1896), организм является одушевленной водой—eau animale. Для живого организма связанная вода, не теряющая своих основных свойств, является неременным составным компонентом. Количество ее в живых организмах, За исключением спор и инертных семян, колеблется от 60 до 99,7 % по весу. Вода играет огромную роль в жизнедеятельности организмов. У высших животных больше всего насыщены водой интенсивно функционирующие органы. Если в скелете 22% воды, в мышцах 76,6, то в сердце содержание воды повышается до 79,3, а в коре полушарий головного мозга достигает 83,3%. У молодых организмов в период интенсивного роста количество воды превышает 90%, а у взрослых падает до 50%. Из низкоорганизованных наиболее ярким примером являются медузы, количество воды в них 99,9% по весу. Но медузы — тела сложные, подвижные в морской среде. В то же в рем" фауна моря более разнообразна по числу классов животных-, чем фауна суши.

Таким образом, эволюция основных классов я типов животного мира была тесно связана с воду-зй средой обитания, что наложило свои отпечаток и на ет>лик живущих ныне организмов.

В химическом отношении основу живого вещества составляет углерод, обладающий уникальной способностью создавать бесконечное множество разнообразных химических соединений. Любая форма живого организма состоит из сочетаний немногих химических элементов. Например, 96% массы человеческого тела составляют такие весьма распространенные в биосфере элементы, как Н, С, N, О. Остальные элементы входят в состав живых организмов в относительно небольших количествах, несмотря на исключительно важную роль некоторых из них в физиологических функциях. Можно считать, что все элементы таблицы Менделеева входят в состав живого вещества планеты, но в различных количествах. Общий характер распространенности химических элементов в живом веществе по степени их содержания показан в табл. 2.

Живые организмы обладают избирательной способностью использовать химические элементы из внешней среды в соответствии со своими физиологическими потребностями. Многие элементы входят в состав как органических, так и минеральных соединений живых существ, Их можно подразделить на главные структурные элементы (С, Н, N, О, Р, S, Na, K, F, Mg, Si, Ca) и элементы-биокатализаторы (Fe, Си, В, Mn, J). Наиболее важные химические элементы живых организмов называют био-фильными. Комбинация их атомов дает многообразные молекул органических веществ.

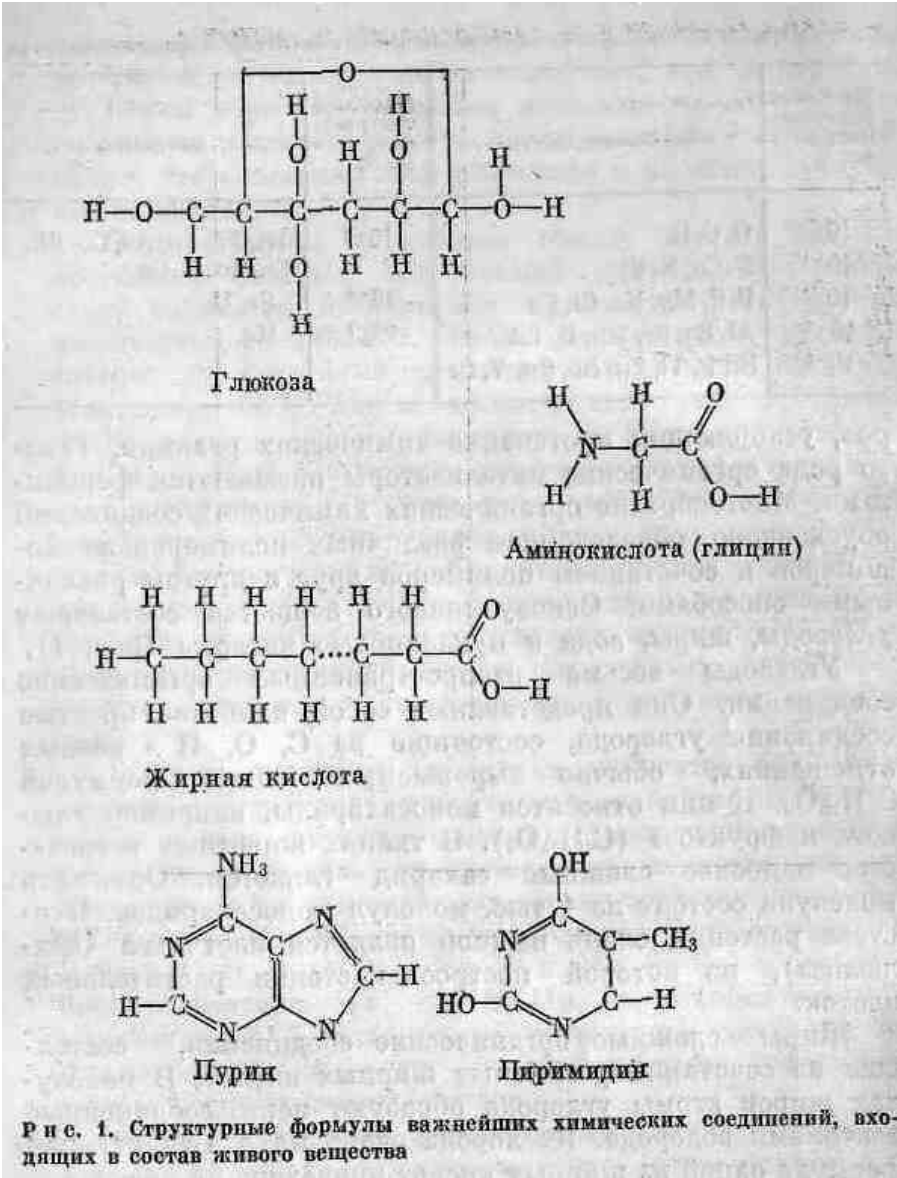
Однако различные формы жизни состоят из довольно небольшого числа простых молекул, относящихся к мономерам. Наиболее важные мономеры — аминокислоты, образующие белки. Живое вещество биосферы состоит преимущественно из длинных молекул, имеющих вид цепочек. Цепочки связываются друг с другом и образуют полимеры, в которых определенные структуры повторяются с небольшими вариациями. В полимерах бывают кольцевые структуры и боковые ответвления, а сами цепочки иногда сворачиваются в специфические сложные структуры. Эти структуры позволяют некоторым белковым полимерам проявлять себя в качестве катализаторов, ускоряющих протекание химических реакций. Такого рода органические катализаторы называются ферментами. Многообразие органических химических соединений обусловлено образованием различных полимеров из мономеров и сочетанием полимеров друг с другом различными способами. Основу живого вещества составляют углеводы, жиры, вода и нуклеиновые кислоты (рис. 1).

Массовое содержание, Элементы вес. %	Массовое содержание, Элементы вес. %
10 O, C, H	10 ⁻⁵ Ni, Pb, Sn, As, Co, Rh, Li, Mo, Y, Ce
10 ⁻¹ N, Ca, K, Si	
10 ⁻² P, S, Mg, Na, Cl, Fe	10 ⁻⁶ Se, U
10 ⁻³ Al, Ba, Sr, Mn, B, TR	10 ⁻⁷ Hg
10 ⁻⁴ Br, F, Ti, Zn, Rb, Cu, V, Cr	

Углеводы — весьма распространенные органические соединения. Они представляют собой наиболее простые соединения углерода, состоящие из C, O, H в разных отношениях, обычно выражаемых общей формулой C_nH_{2n}O_n. К ним относятся моносахариды, например глюкоза и фруктоза (C₆H₁₂O₆). В тканях животных встречается наиболее сложный сахарид — гликоген. Одна его молекула состоит из 1 тыс. молекул моносахаридов. В составе растений очень важной является клетчатка (целлюлоза), из которой построены стенки растительных клеток.

Жиры — сложные органические соединения, состоящие из сочетаний различных жирных кислот. В молекулах жиров атомы углерода образуют цепи, соединенные с атомами водорода. Кислорода очень мало. Структурная формула одной из жирных кислот приведена на рис. 1.

Белки — исключительно сложные органические природные соединения. Кроме C, O, H, они содержат N, иногда S. Молекула обычного белка состоит из нескольких сот мономеров — аминокислот. Каждый тип белка отличается от другого типа набором аминокислот и порядком расположения их молекул в пространстве. Из большого числа возможных аминокислот только 20 относительно широко распространены в живых организмах. Их состав представлен в табл. 3. Средняя молекула белка, состоящая из 100 молекул аминокислот, может дать 20¹⁰⁰ комбинаций структур, что намного превышает число атомов в нашей Галактике. Однако большинство живых организмов синтезируют и используют менее 100 тыс. типов белковых молекул.



Организованные скопления органического вещества, способные к самовоспроизведению и представляющие собой единицы наследственности, называются генами. Они в общем построены из пуринов, пиримидинов, сахара и фосфатных ионов. Структурные формулы пурина и пиримидина даны на рис. 1.

Таблица3. Аминокислоты, найденные в живых организмах		
Аминокислота	Химическая формула	Число атомов
Аланин	C3H7O2N	13
Аргинин	C6H15O2N4	27
Аспарагин	C4H8O3N2	17
Аспарагиновая кислота	C4H7O4N	16
Цистеин	C3H7O2NS	14
Глутаминовая кислота	C5H9O4N	18
Глутамин	C5H10O3N2	20
Глицин	C2H5O2N	10
Гистин	C6H9O2N	20
Изолейпин	C6H13O2N	22
Лейцин	C6H13O2N	22
Ливии	C6H15O2N	25
Метионин	C5H11O2NS	20
Фенилаланин	C9H11O2N	23
Пролив	C5H9O2N	17
Серии	C3H7O3N	14
Треонин	C4H9O3N	17
Триптофан	C11H12O2N	27
Тирозин	C9H11O3N	24
Валин	C5H11O2N	19

Основное условие существования живых организмов — это способность к самовоспроизведению. Установлено, что во всех живых организмах процессом воспроизведения управляет один и тот же полимер — дезоксири-бонуклеиновая кислота (ДНК). Молекулы ДНК совместно с близкими им молекулами рибонуклеиновой кислоты (РНК) снабжают организм информацией о том, как ему функционировать.

Молекулы ДНК хранят генетический код, сообщающий следующему поколению организмов, как поддерживать обмен веществ, расти и размножаться. Вся генетическая информация содержится в последовательности химических групп, которые располагаются внутри молекулы ДНК по всей ее длине. ДНК состоит из двух цепей молекулярных построек, которые обвивают друг друга, образуя замкнутую двойную спираль.

По данным генетики и молекулярной биологии, все живое на нашей планете (рыбы, птицы, растения и другие организмы) построено как бы по единому плану—из— сходных строительных блоков, сложенных из белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов и липидов. Набор химических элементов, образующих структуру клеток, в общем довольно ограничен и определяется главными био-фильными элементами.

Поскольку большую часть геологического времени эволюция растений и животных протекала в морской воде, растворенные в ней химические элементы неизбежно вошли в состав этих организмов и повлияли на общий ход некоторых жизненных процессов. И в современную эпоху соотношение ряда элементов в составе некоторых животных как бы повторяет соотношение их в морской воде. Сравнение соответствующих отношений для ряда элементов с составом крови или мягкой части тела различных животных представлено в табл. 4.

Население биосферы Земли в морфологическом отношении чрезвычайно разнообразно. Размеры отдельных индивидуумов колеблются в чрезвычайно широких пределах. Среди растений мы встречаем бактерии, измеряемые микрометрами, гигантские водоросли (Macrocystts), достигающие 300 м длины, и эвкалипты высотой до 150 м. Среди животных известны мельчайшие инфузории (десятки микрометров) и гигантские синие киты длиной до 33 м.

Весь живой мир нашей планеты издавна подразделялся на животных и растения. Однако в настоящее время углубленное изучение структур клеточных организаций позволяет произвести более основательную и новую систематизацию.

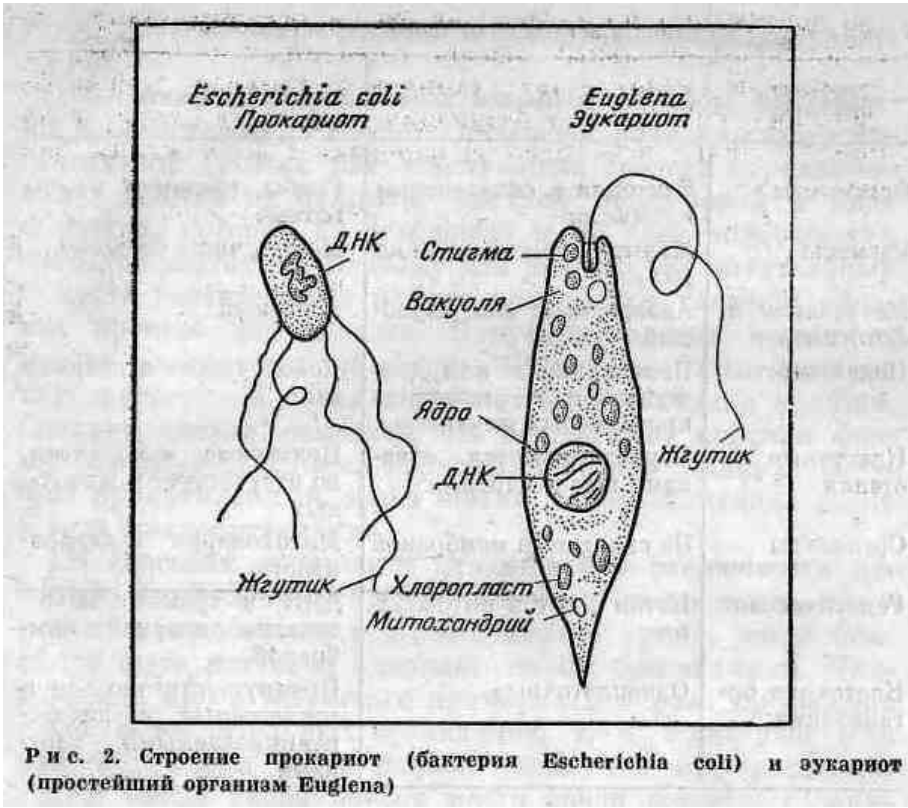
Таблица 4. Сравнительный состав крови или мягких частей тела различных животных. Na = 100

Природный объект	K	Ca	Mg	Cl	S04
Морская вода	3,61	3,91	12,1	181	20,9
Мечехвост (Limulus)	5,62	4,06	11,2	187	13,4
Медуза (Aurelia)	5,18	4,13	11,4	186	13,2
Омар (Homarus)	3,73	4,85	1,72	171	6,7
Коноплянка (Acanthias)	4,61	2,71	2,46	166	^•
Треска (Gadus)	9,50	3,93	1,41	150	-
Pollachius	4,33	3,10	1,46	138	• - '•
Лягушка	—	3,17	0,79	138	—
Собака	6,62	2,8	0,761	139	:
Человек	6,75	3,10	0,70	129	- •

Самыми низкоорганизованными живыми существами являются бактерии и синезеленые водоросли. Они отличаются от всех Других организмов отсутствием -истинного ядра в клетке и особым положением ДНК, которая располагается в клетке свободно, не отделяясь от цитоплазмы ядерной мембраной. Эти организмы получили название прокариотов (Procarcyota—доядерные). У всех остальных одноклеточных и многоклеточных организмов имеется настоящее ядро, окруженное мембраной и резко отграниченное от цитоплазмы. Такие организмы названы эукариотами (Eucaryota — ядерные). Кроме дифференцированного ядра и цитоплазмы, у части их представителей имеются митохондрии, а у многих — пластиды и сложные жгутики.

Таблица. Различие в организации прокариот и эукариот		
Основные признаки :	Г11юкариэть1	•Эуяриоты
Организмы	Бактерии и синезеленые	Грибы, растения и жи

	водоросли	вотные
Размеры	Малые, в общем от 10 до	Малью,; чаще большие
	100 мкм	
Метаболизм и фотосинтез	Анаэробный или аэробный	Аэробный
Подвижность	Неподвижные или движущиеся с помощью протеиновых жгутиков	Неподвижные и подвижные
Цветочные стенки	Характеризуются саха-рами или пептидами	Целлюлоза или хитин, но отсутствует у животных
Органеллы	Не связанные мембраной	Митохондрии и хлоропласты
Генетическая	Петля ДНК - В цитоплазме	ДНК в хромосомах и связаны ядерной мембраной
Клеточная организация	Одноклеточные	Преимущественно многоклеточные с дифференцированными- клетками



Р и с. 2. Строение прокариот (бактерия *Escherichia coli*) и эукариот (простейший организм *Euglena*)

На рис. 2 показано строение одноклеточных представителей прокариот и эукариот. В табл. 5 отмечены главные особенности их организации. Оказывается, что различия между прокариотами и эукариотами гораздо более глубокие и существенные, чем, например, между высшими растениями и высшими животными (и те и другие эукариоты). Именно эукариоты подразделяются на два царства — растений и животных. Однако в настоящее время из царства растений исключают бактерии и сине-зеленые водоросли. В то же время наметилась четкая тенденция выделять грибы в качестве отдельного царства живых организмов. Большинство специалистов-микологов считают, что происхождение грибов от какой-то группы растений маловероятно. Значительно более вероятно происхождение грибов от гетеротрофных амебод-ных двужгутиковых простейших. Близость грибов к животным подтверждается данными современной биохимии.

Учитывая вышеизложенное, можно считать, что органический мир биосферы состоит из четырех царств: доядерных (прокариот), животных, грибов и растений. Древнейшими в геологической истории были прокариоты, следы жизнедеятельности которых выявлены морфологи-чески и биохимически в формациях докембрия. Главные черты генетических взаимоотношений между прокариотами, растениями, грибами и животными представлены на рис. 3.

Эукариоты представлены главным образом растениями и животными. Растения являются неподвижными организмами (у них нет собственных средств передвиже-ния). Клетки их покрыты жесткой целлюлозой в виде оболочки, которая их защищает и не дает возможности свободно двигаться. Поэтому для накопления питательных веществ растительные клетки используют главным образом процесс фотосинтеза. Напротив, клетки животных имеют эластичную оболочку. Животные сами активно передвигаются в поисках лучших мест обитания и пищи. Следует, однако, отметить, что существуют морские формы животных (губки, кораллы, морские лилии), ведущие прикрепленный образ жизни и потребляющие пищу в виде микроорганизмов.

В способах питания и перемещения заключается основное различие между растениями и животными, которое оформилось еще в докембрийское время, когда биосфера была населена одноклеточными организмами. Численность видов животных примерно в 4 раза превышает таковую растительных организмов, т. е. животный мир нашей планеты более разнообразен, чем мир растений.

По числу видов первое место среди животных занимают насекомые. Этот наиболее многочисленный класс беспозвоночных насчитывает свыше 1 млн видов. Общее соотношение численности различных видов животных дано на рис. 4. Очевидно, что число видов насекомых резко превышает число видов любого класса живых организмов. Но, по заключению энтомологов, помимо учтенных видов насекомых, в пределах биосферы существует еще столько же неучтенных. Поскольку насекомые способны к быстрому

размножению, очевидно, что они представляют собой мощный биологический и геохимический фактор. Ориентировочные расчеты показывают, что на нашей планете обитает минимум 108 млрд насекомых, т. е. на каждого человека на Земле приходится около 250 млн представителей этого класса.

Следующим по числу видов идут моллюски, но их значительно меньше, чем насекомых. Позвоночные животные по числу видов занимают третье место, а среди них наиболее развитый класс — млекопитающие составляют одну десятую часть. Примерно половина позвоночных приходится на долю рыб. Таким образом, если у членистоногих наиболее интенсивное образование видов происходило на суше, преимущественно среди насекомых, то у позвоночных наиболее благоприятные возможности для этого реализовывались в водной среде.

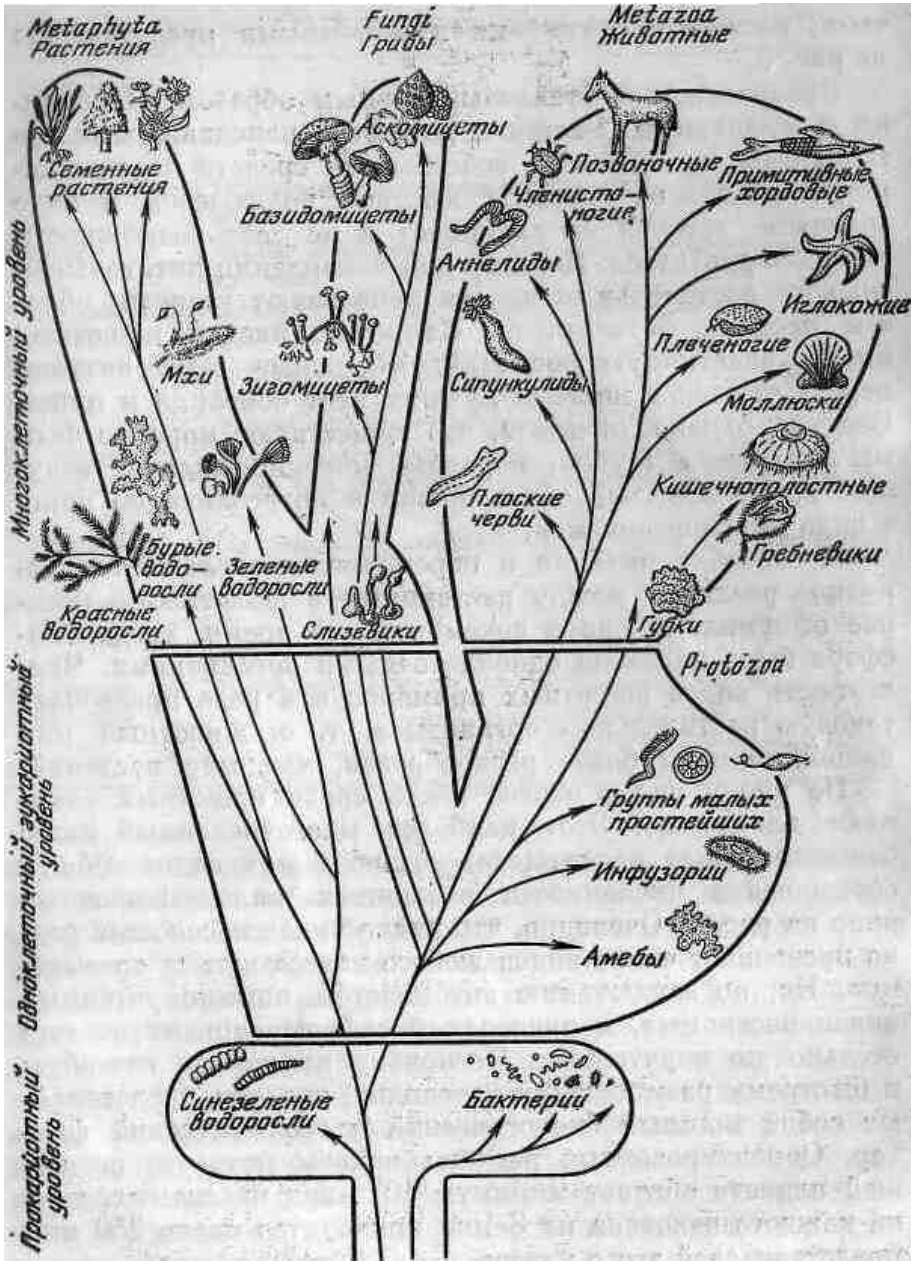


Рис. 3. Генетические взаимоотношения различных царств живых организмов. Одноклеточные прокариоты привели к образованию более сложных одноклеточных эукариот, от которых произошли все три царства многоклеточных: растения, грибы и животные

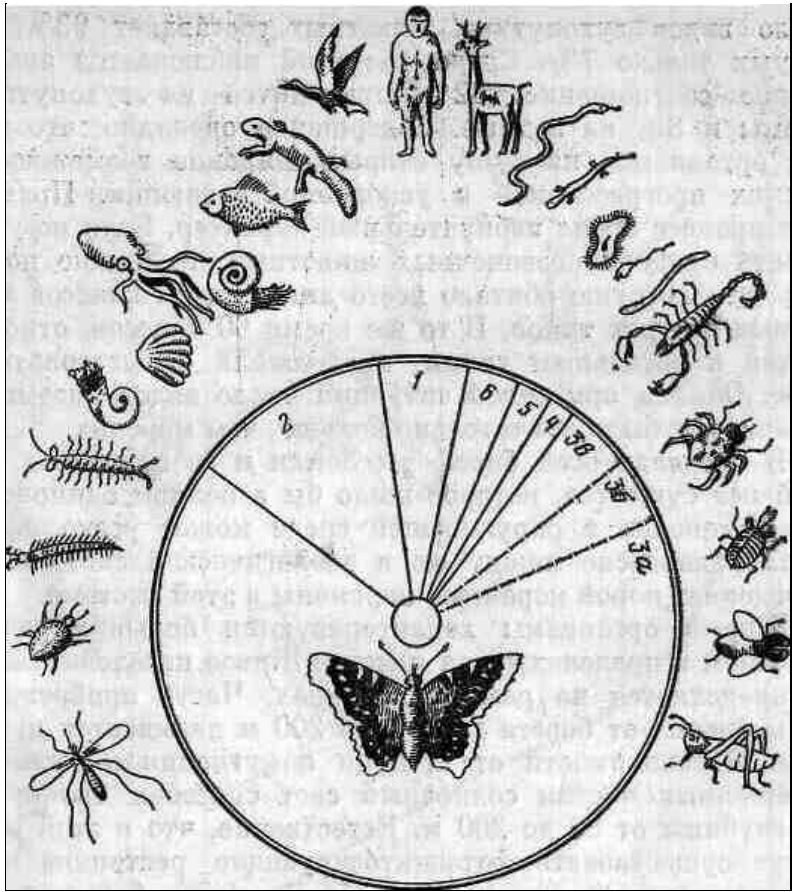


Рис. 4. Соотношение численности видов животных

1 — хордовые; 2—моллюски; 3 — членистоногие (а — насекомые, б — паукообразные, в — ракообразные); 4 — черви; 5 — одноклеточные; 6 — прочие

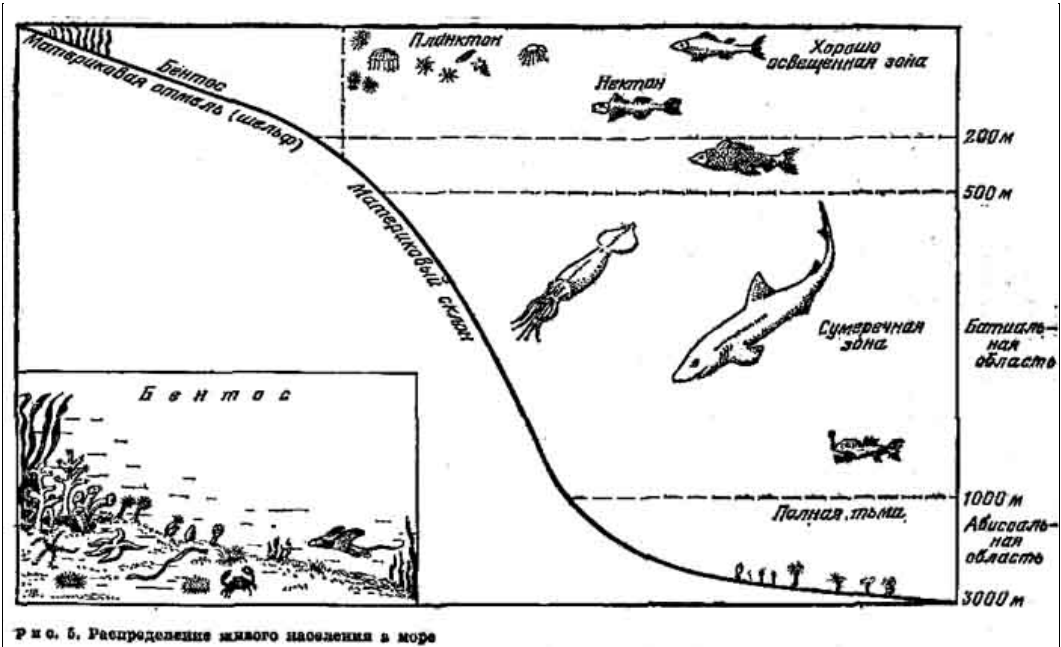
Среди растений более половины видов составляют покрытосеменные, которые возникли в недавнем геологическом прошлом в основном на поверхности суши. Их развитие теснейшим образом было связано с развитием насекомых, игравших роль опылителей. Среди млекопитающих наибольшее число видов приходится на долю грызунов. Они также были связаны в своем развитии с покрытосеменными растениями.

Органический мир суши в видовом отношении более разнообразен, чем органический мир водной среды. Если число видов сухопутных животных составляет 93%, то водных только 7%. Среди растений наблюдается аналогичное соотношение: 92% приходится на сухопутные формы и 8% на водные. Совершенно очевидно, что выход организмов на сушу открыл широкие возможности для их прогрессивной и ускоренной эволюции. Правда, этот процесс носил избирательный характер. Если не учитывать предков позвоночных животных, то можно полагать, что на суше обитало всего лишь шесть классов животных из трех типов. В то же время 60 классов, относящихся к остальным типам, продолжали существовать в море. Однако при такой ситуации число видов наземных организмов было значительно больше, чем морских.

В пределах всей биосферы Земли и ее составных частей нет существа, которое жило бы в полном одиночестве. Изменение в окружающей среде может резко нарушить равновесие между ею и экологической системой и определяет порой коренные перемены в этой системе.

Живые организмы характеризуются большим разнообразием в пределах суши и моря. Живое население моря распределяется на разных глубинах. Часть прибрежной зоны океана от берега до глубин 200 м называется шельфом. В зависимости от степени помутнения и наличия взвешенных частиц солнечный свет способен проникать на глубины от 80 до 200 м. Естественно, что в этой зоне могут существовать фотосинтезирующие растения, преимущественно водоросли, вырабатывающие большое количество питательных веществ, которыми питаются морские животные. Далее, к срединным областям океана, располагается континентальный склон и абиссальная зона, куда солнечный свет не доходит и где количество организмов резко уменьшается. В зависимости от места обитания и способов передвижения живое население моря распределяется на планктон, нектон и бентос.

Свободноплавающие, взвешенные в воде мелкие организмы составляют планктон, который разделяется на фитопланктон, состоящий из растений, и зоопланктон — из мелких морских животных. Активно передвигающиеся в воде животные образуют нектон. Самые крупные живот-вые нектона — это киты, дельфины, акулы. К нектону относятся и костистые рыбы, питающиеся обильным планктоном. Живые организмы, населяющие морское дно преимущественно в области сублиторальной зоны, составляют бентос, который разделяется на прикрепленный (водоросли, губки, кораллы) и подвижный (моллюски, ракообразные, иглокожие и др.). В абиссальной зоне темных глубин океана встречаются некоторые бактерии и несколько видов плесневых грибов. Животные этой зоны питаются за счет остатков организмов планктона, опускающихся из освещенной зоны. По современным данным, нет таких глубин, где не могла бы существовать жизнь. Даже в самой глубокой впадине— Марианской (глубина 11 022 м) — удалось обнаружить и сфотографировать ракообразных и других животных. Распределение населения в море представлено на рис. 5.



На поверхности континентов различные экологические системы не всегда четко разграничиваются, и часто одна из них накладывается на другую. Наиболее выразительно проявляется зональный — широтный характер распределения растительности. Эти зоны в принципе повторяются в горных системах, где от подошвы до горных вершин происходит изменение растительных поясов от теплолюбивых форм до хвойных лесов, альпийских лугов и вечных снегов. От общего широтного характера распределения растительности имеются многочисленные отклонения. Часто распределение растительности зависит от изменений климата, вызванных близостью теплых морских течений, от положения, высоты местности и других факторов. Размещение животных в общем связано с растительными зонами, но при этом наиболее широкие пространства обитания имеют птицы, совершающие сезонные массовые перелеты.

Древность жизни на Земле

В результате трехвековой истории геологии можно утверждать, что нигде на нашей планете не встречены отложения, в которых жизнь отсутствовала бы, и нет таких даже косвенных данных, чтобы мы могли научно допустить ее отсутствие в данных геологических явлениях.

В. И. Вернадский

Древность жизни на нашей планете относится к числу весьма сложных проблем теории эволюции организмов и имеет непосредственное отношение к проблеме происхождения самой жизни.

Еще в 1861 г. один из выдающихся физиков XIX в. — англичанин В. Кельвин (Томсон) на основании теории теплопроводности подсчитал, что возраст Земли равен примерно 24 млн лет. По его мнению, за столь короткий промежуток времени не мог пройти процесс всей биологической эволюции путем естественного отбора. В. Кельвин выступил против теории Ч. Дарвина. Великий натуралист признавал, что расчеты физиков того времени относительно возраста Земли являлись серьезным препятствием для развития его эволюционных идей. Значительно позже, в связи с открытием радиоактивности и использованием этого явления для измерения геологического времени, оказалось, что расчеты В. Кельвина были несостоятельными, как и возражения его против принципов дарвинизма.

Данные радиологических методов резко увеличили длительность геологического времени, которое необходимо для полного проявления естественного отбора в процессе биологической эволюции. Оправдались слова Ж. Б. Ламарка, который еще в начале XIX в. писал: "Для природы время ничего не значит и никогда не представляет затруднений, она всегда его имеет в достаточном распоряжении, и для нее это средство не имеет границ, с помощью его она производит и самое великое, и самое малое".

Авторы различных гипотез о происхождении жизни на Земле допускали, что в течение огромного промежутка времени планета была безжизненной и на ее поверхности происходил медленный абиогенный синтез органических соединений, который привел к формированию живого вещества. Еще в 1924 г. в своей первой публикации, посвященной проблеме происхождения жизни, академик А. И. Опарин писал о длительном существовании безжизненной Земли, возникшей из раскаленного газа солнечного состава. В 1963 г. он повторил свой тезис, сказав, что тогда ей были свойственны лишь неорганические формы движения материи. При этом все совершавшиеся на ее поверхности явления всецело определялись законами физики и химии.

Подобные представления мы встречаем и у других, исследователей. Так, Дж. Бернал в 1968 г. писал, что химическая эволюция могла продолжаться в течение тех 2 млрд лет, которые предшествовали органической эволюции. В весьма интересной монографии голландского ученого М. Руттена "Происхождение жизни (естественным путем)" [1973] было отмечено, что возникновение жизни должно было занять огромный, по нашим меркам, промежуток времени, развитие шло очень медленно, так что это почти невозможно себе представить.

Однако были и другие представления относительно необычайной длительности существования жизни на нашей планете. Они были развиты такими видными учеными нашей страны, как В. И. Вернадский, Л. С. Берг, Л. А. Зенкевич. В частности, в 1947 г. Л. С. Берг писал: "Действительно, вряд ли хватит трех-четырёх миллиардов лет для того, чтобы на Земле успела не только зародиться жизнь, но и чтобы она могла дать начало всему тому разнообразию органического мира, какое мы видим в настоящее время. Вспомним, что на эволюцию одного подтипа животных — позвоночных — ушло около полумиллиарда лет. Сколько же потребовалось для образования моллюсков, членистоногих, червей и т. д.? Какой промежуток времени употребила природа, чтобы произвести группу одноклеточных организмов, включающих в себя не только несколько типов, но одновременно животных и растения? Сколько времени нужно было, чтобы из бесформенного комочка живого вещества получил начало первичный оформленный организм?" Л. А. Зенкевич считал, что развитие органического мира должно было продолжаться не менее 10 млрд лет.

Чтобы оценить справедливость вышеприведенных высказываний, следует более подробно ознакомиться о современных данными геологической науки о реальных признаках жизнедеятельности организмов в далеком прошлом нашей планеты. Это тем более необходимо, что за последние 20 лет в этой области достигнуты выдающиеся успехи.

По степени геологической и палеонтологической изученности история земной коры подразделяется на две неравные части. Более молодой интервал времени, охватывающий последние 570 млн лет, относительно хорошо изучен. Американским геологом Ч. Шухертом он назван фанерозойским эоном или фанерозоем (от греч. "фана-рос" — очевидный, четкий, "зоэ" — жизнь). К фанерозою относятся кайнозойская, мезозойская и палеозойская эры. Вторая, более древняя и продолжительная часть названа криптозойским эоном (период со скрытым развитием жизни). Он охватывает огромный интервал времени — 4600—570 млн лет назад. В большинстве случаев организмы криптозоэя не имели твёрдого скелета и оставили довольно скудные следы.

Геологическая и палеонтологическая летописи тесно взаимосвязаны. В осадочных толщах разного возраста встречаются ископаемые остатки животных и растений. Однако ранние стадии развития Земли не фиксированы в каменных документах геологической летописи, так как первичные горные породы уничтожены последующими геологическими процессами, а следы первичных форм организмов — в ходе развития верхних слоев планеты. Академик Б. С. Соколов [1979] отметил, что переход от химической эволюции к эволюции биологической палеонтологи и палеобиохимики никогда не смогут строго документировать, т. е. дать ответ на самый острый вопрос — как и когда возникла жизнь. Тем не менее данные палеонтологии и других наук позволяют приблизительно оценить древность жизни.

Признаки существования организмов, живших в прошлом, можно подразделить на морфологические, биохимические и изотопно-геохимические.

Морфологические остатки наиболее очевидны. Они выражаются в естественной мумификации останков, окаменелостях и отпечатках. Хотя естественная мумификация наиболее полно сохраняет организм, тем не менее она встречается редко и характерна для самых молодых геологических формаций.

После гибели организмов часто остаются их скелеты. Однако и мягкие части тела могут перейти в окаменелость. Иногда они состоят из хитина, но значительно чаще из неорганических веществ. При этом различные минеральные вещества, находящиеся в водных растворах, вникают в тело погибшего организма и замещают собой вещества, первоначально составлявшие органические остатки, которые Оказались неустойчивыми. Процессу окаменения (фоссилизации), кроме остатков животных, могут подвергаться также остатки растений, когда их ткани, в частности древесина, замещаются кремнеземом. В иных условиях, при недостатке кислорода, стволы и стебли растений превращаются в уголь, а листья — в углистые пленки. Аналогичным процессам фоссилизации подвергаются и микроорганизмы. Но это происходит в исключительных условиях, когда их остатки захороняются и консервируются в тонкодисперсных осадках либо в коллоидных отложениях кремнезема. Микро-фоссилии иногда бывают хорошей сохранности, с четким изображением и находят своих аналогов среди современных микроорганизмов. В то же время следует отметить, что истолкование микроскопических препаратов встречается с трудностями и далеко не всегда однозначно. Микрофоссилии обнаружены в весьма древних отложениях — возрастом до 3,5 млрд лет.

Морфологические остатки дают возможность реставрировать древние формы с максимальной полнотой и проводить их систематику подобно тому, как это делается для современных форм растений и животных.

Биохимические следы существования древних организмов представлены в виде наиболее устойчивых химических соединений в осадочных горных породах земной коры. В целом органическое вещество биологического происхождения широко распространено в различных породах. Его подавляющая часть находится в рассеянном состоянии. Концентрированное органическое вещество в виде углей, горючих сланцев и нефтей составляет в общем небольшую долю по отношению к рассеянному веществу. Если не происходит минерализации остатков растений и их ткани относительно хорошо сохраняются, то совершается процесс обугливания. По некоторым оценкам, отношение рассеянного органического вещества биологического происхождения к концентрированному составляет примерно 300. В состав органического вещества земной коры входят в разной пропорции углеводы, углеводороды, белки, жиры, аминокислоты. В основной своей массе они вскоре превращаются в гумусовое вещество. В целом в горных породах установлено свыше 500 органических соединений.

Аминокислоты в ископаемых органических отложениях отражают былое присутствие белковых тел. Большинство аминокислот имеет только один асимметрично .расположенный атом углерода в молекуле, что приводит к образованию двух возможных оптических изомеров— *D* (правый) и *L* (левый), вращающих луч проходящего , через них света. Аминокислоты биологического проис-хождения, находящиеся в земных геологических объектах, .представлены L-изомерами. Но в то же время аминокис-лоты, синтезированные неорганическим путем, представляют собой смеси оптических *D*- и L-изомеров в равных количествах и поэтому оптически неактивны. Вообще многие органические соединения горных пород разного геологического возраста показывают оптическую активность, что свидетельствует об их биологическом происхождении. Основными источниками этих органических соединений биологического происхождения были растительные остатки, как продукты фотосинтеза, ранее обитавшие в различных зонах древних водоемов в виде фитопланктона.

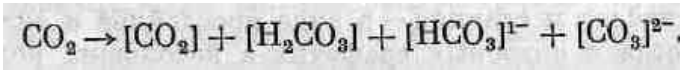
Изучение органического вещества древних пород не позволяет установить, какие именно виды растений послужили источником их образования. Особенно это относится к самым древним — докембрийским отложениям. Поэтому биохимические следы существования живых организмов на нашей планете могут лишь в целом указывать на присутствие в данной геологической эпохе жизни как таковой. В процессе метаморфизма горных пород часть органического вещества превращается в графит, который встречается в древних докембрийских породах—гнейсах и сланцах — в виде прослойков и включений. Иногда в подобных графитах в небольших количествах встречаются остатки органического вещества. Одним из существенных достижений органической геохимии последних двух десятков лет является установление в наиболее древних осадочных породах углеродистых соединений биогенного происхождения.

Особое место в современной геохимии занимают изотопные методы исследования, позволяющие установить следы жизнедеятельности организмов в самых древних метаморфизованных породах криптозоя. В процессе жизнедеятельности при обмене с внешней средой изменяется изотопный состав биофильных элементов, в частности таких, как сера и углерод, что было предсказано еще В. И. Вернадским. В настоящее время фракционирование изотопов в ходе биогеохимических процессов экспериментально установлено.

Измерения изотопного состава серы из раннедокембрийских формаций СССР, Северной Америки и Южной Африки показали фракционирование ее изотопов, выражающееся в колебаниях отношения 32S/34S. Общая закономерность фракционирования изотопов серы в биосфере заключается в том, что содержание более легкого изотопа 32S повышено в сульфидных ее формах (связанных с формированием в водоемах сероводорода H2S) по сравнению с сульфатными ее формами (CaSO4, BaSO4 и др.), в которых относительно повышена пропорция тяжелого изотопа серы 34S. Изотопные смещения серы между сульфидами и сульфатами свидетельствуют о бактериальной сульфатредукции в древних водоемах.

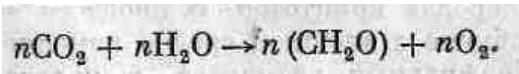
Особенно показательны в отношении выявления древних следов жизни данные по изотопному составу углерода. В процессе круговорота этого элемента в биосфере планеты, связанного с живым веществом, происходит смещение изотопных отношений 12C/13C. Основные пути геохимического круговорота углерода в биосфере представлены на рис. 6. Начало этого круговорота знаменуется выделением CO2 из мантийных глубин в результате вулканических процессов. К этому добавляется CO2 при термическом разложении известняков в условиях метаморфизма. Затем CO2 распределяется между атмосферой и гидросферой и мигрирует в примерной пропорции 4:1 двумя путями.

Первый путь связан с образованием сложной карбонатной системы между атмосферой и гидросферой:

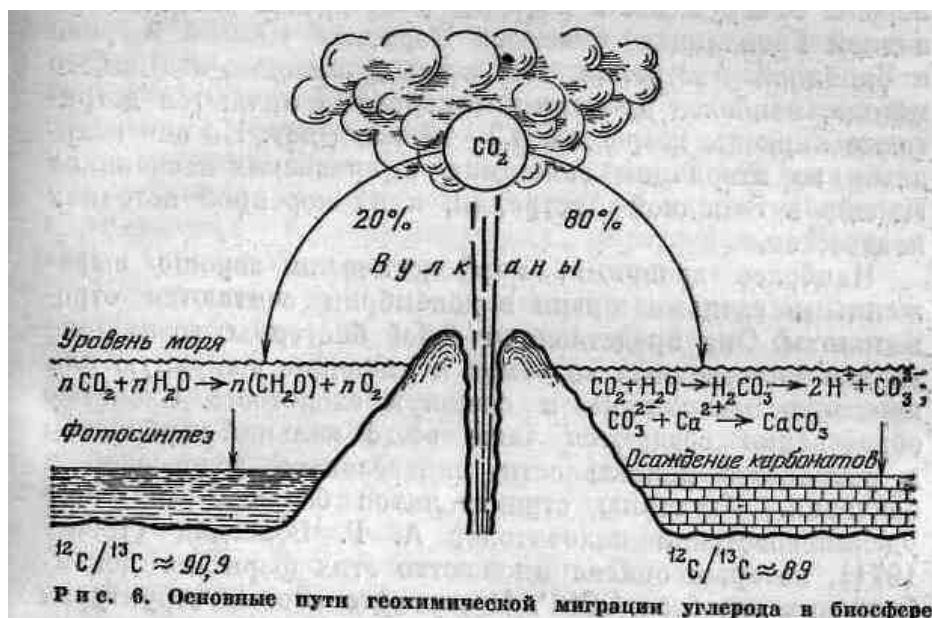


В конце концов в морской воде CO2 соединяется с Ca и Mg, образуя известняки преимущественно в форме скелетов морских организмов.

Другой путь миграции CO2 в биосфере заключается в поглощении его зелеными растениями в процессе фотосинтеза с образованием органических веществ и выделением свободного кислорода. В общем это можно выразить так:



Процесс фотосинтеза приводит к фиксации углерода в органическом веществе. Одна часть его окисляется с образованием CO2 в условиях поверхности Земли, другая захороняется я условиях восстановительной среды.



На этих главных путях геохимической миграции углерода происходит фракционирование его изотопов. Например, в морских известняках повышается содержание тяжелого изотопа углерода ^{13}C , что типично также для кальцитовых и арагонитовых раковин морских организмов. Таким образом, изотопное отношение $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ в морских известняках устанавливается от 88,2 до 89. Во время же процесса фотосинтеза относительное содержание изотопа ^{13}C понижается, поскольку скорость захвата легкой молекулы $^{12}\text{CO}_2$ выше, чем молекулы $^{13}\text{CO}_2$. Поэтому для растений и их остатков наблюдается отношение $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ в пределах 90—92. Изотопный состав углерода растений наследуется углеродом животных, которые питаются растениями. Интересно отметить, что изотопный состав графита из древних докембрийских метаморфических горных пород соответствует углероду растений — продуктов фотосинтеза.

Самые древние горные породы, преимущественно метаморфические, залегают в докембрийских щитах почти на всех материках земного шара. Возраст их древнейших участков определяется разными радиологическими методами в 3,8—3,5 млрд лет. В той или иной степени они ассоциированы со следами древней жизни. Древнейшие породы обнаружены и изучены в Северной Америке, Западной Гренландии, Северной Норвегии, Южной Африке и Западной Австралии. По данным свинцово-изотопного метода, наиболее древними минералами являются детри-товые цирконы возрастом 4,2—4,1 млрд лет. Но они находятся во вторичном залегании в архейских песчаниках Нарейр в Западной Австралии, и их коренной источник неизвестен.

Наиболее древними, морфологически хорошо выраженными следами жизни в докембрии считаются стро-матолиты. Они представляют собой биогермы, возникшие на дне мелководных водоемов и имеющие выпуклую или неровную поверхность и сложную слоистость. Слоистые образования создаются чаще всего кальций-карбонатом в результате деятельности синезеленых водорослей и бактерий. Изучению строматолитов большое внимание уделил советский палеонтолог А. Г. Вологдин (1896— 1971), который описал множество этих форм из докем-брийских разрезов СССР. В строматолитовых структурах были обнаружены микрофоссилии. Поэтому в настоящее время нет никаких сомнений в биогенном происхождении строматолитов. Древнейшие строматолиты найдены в серии Варравуна в разрезе докембрия блока Пилбара в Западной Австралии. Возраст их 3,5 млрд лет.

В Южной Африке, в Центральном Трансваале, обнажаются древние породы свазилендской серии, в которую входят системы Фигового Дерева и Онвервахт. В черных сланцах системы Фигового Дерева обнаружены при микроскопическом просмотре бактериоподобные образования размером 0,56X0,24 мкм, названные Е. С. Баргхорном Eobacterium isolatuii. Сфероидальные темноокрашенные органические тела, сравнимые по общей морфологии с некоторыми современными одноклеточными водорослями, найдены в тех же местах в формации черных сланцев.

В системе Онвервахт выявлены сложные органические соединения жирных кислот и изопреновых углеводородов. Из пород этой системы неоднократно описывались морфологически водорослеподобные формы. Они представляют собой сферические тельца с преобладающим диаметром 6—20 мкм. Самые крупные из обнаруженных имеют диаметр 200 мкм. Они похожи на аналогичные образования из выселяющей серии Фигового Дерева в том же районе и из свиты Ганфлинт в докембрии Северной Америки. Биологическое происхождение указанных форм несомненно" поскольку они ассоциированы с изопреновыми углеводородами которые являются продуктами фотосинтеза и широко распространены в отложениях более молодых геологических эпох. Данные по изотопному составу углерода показали хорошее совпадение с данными для нефтей, углей и рассеянной органики. Это вещество, по-видимому, связано с деятельностью примитивных бактериоподобных автотрофов. Возраст свиты Онвервахт оценивается в 3,44 млрд лет.

Измерения изотопного состава серы в разных минеральных ассоциациях из раннедокембрийских формаций СССР, Южной Африки и Северной Америки показали фракционирование изотопов, вызванное деятельностью сульфатредуцирующих бактерий. В слабометаморфизованных железистых формациях провинции Онтарио в Канаде изотопный разброс между сульфатными и сульфидными минеральными формами серы составляет от +20 до ~2%. Это свидетельствует об энергичной суль-фатредуцирующей деятельности бактерий в водоемах, где накапливалось железо, 2,7 млрд лет назад. Однако исследование более древних пород из разреза Исуа в Гренландии не выявило существенного разброса изотопов серы в сульфидах и сульфатах, что может говорить об отсутствии бактериальной редукции сульфатов. Первые изотопные свидетельства редукции сульфатов были установлены в верхнем архее Алданского щита в Сибири (около 3 млрд лет назад) и в полосчатых железистых формациях Вумен-Ривер в Канаде (примерно 2,8 млрд лет назад). По мнению западногерманского геохимика М. Шидловского, сульфатный ион SO_4^{2-} , потреблявшийся первыми сульфатредуцирующими организмами, возник, скорее всего, в результате окисления восстановленных соединений серы фотосинтезирующими серобактериями. Поэтому можно себе представить, что фотосинтез—процесс, высвобождающий свободный кислород в биосферу планеты,— хронологически предшествовал появлению бактериальной редукции серы в древних докембрийских водоемах.

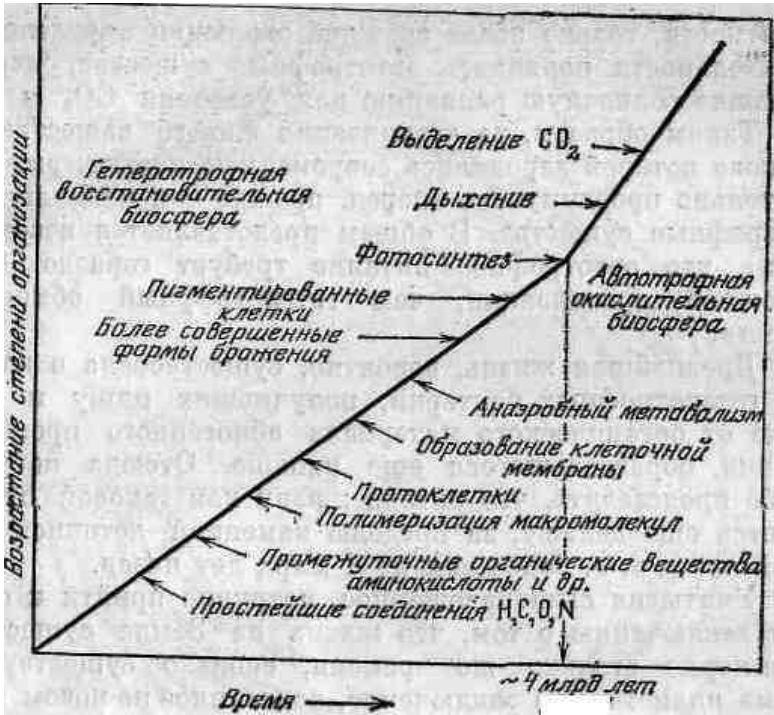
Изучение изотопного состава углерода как указателя древности фотосинтеза и, следовательно, древности биосферы имеет особо важное значение. М. Шидловским и его сотрудниками были выполнены многочисленные измерения изотопного состава углерода образцов карбонатных и других горных пород из древнего супракрустального комплекса Исуа. Возраст горных пород из этого комплекса, установленный радиологическими методами, 3,8 млрд лет.

Полученные данные показали, что Скарб и Сорг присутствовали и мигрировали в древней биосфере Земля в общем в современной пропорции. Карбонатный углерод и углерод органического происхождения первоначально обладали изотопными соотношениями, близкими к современным для соответствующих осадочных горных пород. Таким образом, известный биогеохимический цикл углерода, связанный с фотосинтезом в биосфере, существенно стабилизировался более 3,8 млрд лет назад.

Поскольку фотосинтез приводит к выделению свободного кислорода, естественно, что следы древней биосферы должны отражать процессы окисления, определяемые этим элементом. Действительно, в разрезе Исуа обнаружены широко распространенные в докембрии полосчатые железистые кварциты. Они относятся к окисной фации железорудных формаций и реально отражают наличие свободного кислорода. Однако собственно свободного кислорода в атмосфере Земли было еще очень мало, поскольку он в больших количествах расходовался в биосфере на окисление многих веществ, включая вулканические газы (CO , H_2S , S_2 , SO_2) и все формы двухвалентного железа. Вообще количество свободного кислорода в атмосфере раннего докембрия было результатом борьбы двух противоположных тенденций — биологической продуктивности и неорганического поглощения. Присутствие огромного количества неокисленных веществ в гипергенной зоне докембрия приводило к прогрессивному поглощению свободного кислорода наряду с окислением вулканогенных газов.

Большая древность геологического разреза Исуа заинтересовала многих исследователей. По последним данным, в графитовых включениях древних пород обнаружены бензиноподобные и нафтеноподобные соединения при изотопном отношении $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, соответствующем углероду фотосинтетического (биологического) происхождения. По данным Г. Пфлюга, в кварцитах из Исуа обнаружены образования из других докембрийских пород более молодого геологического возраста. Однако собственно биологическая природа этих образований пока еще не доказана. Их внутренние части заполнены гидрооксидами железа.

Таким образом, по данным геохимических исследований древнейших горных пород можно сделать вывод о том, что эволюционный уровень фотоавтотрофной жизни был достигнут 4,55—4 млрд лет назад.



Р и с. 7. Основные ступени эволюции вещества

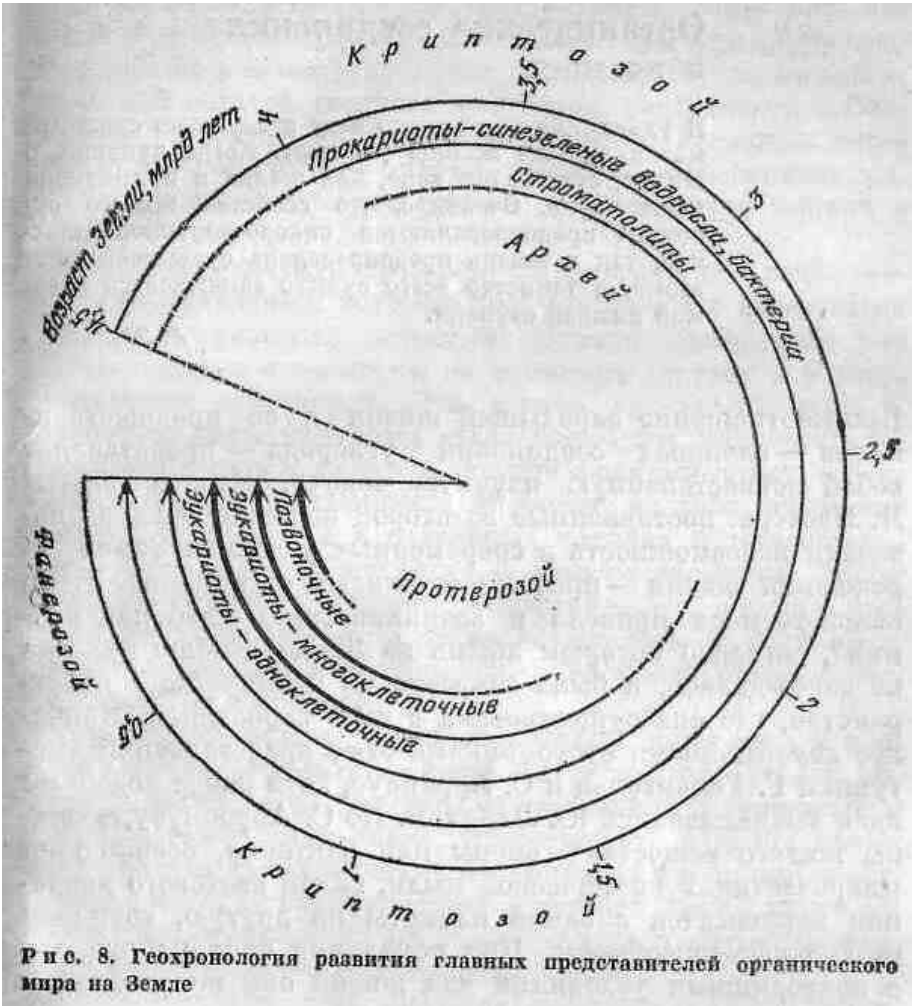
Изучение разреза горных пород в районе Исуа позволяет считать, что фотоавтотрофная биосфера существовала на нашей планете не менее 4 млрд лет назад. Однако, по всем данным цитологии и молекулярной биологии, фотоавтотрофные организмы были вторичными в процессе эволюции живого вещества. На рис. 7 показаны основные ступени эволюции вещества (образование первых клеток, а затем и фотосинтезирующих организмов). Автотрофному способу питания живых организмов должен был предшествовать гетеротрофный, как более простой. Автотрофные организмы, строящие свое тело за счет неорганических минеральных веществ, имеют более позднее происхождение. Еще видный советский биолог А. А. Заварзин (1886—1945) отмечал, что сравнительное изучение энергетических процессов в современных организмах позволяет заключить, что окислительные процессы (дыхание) имеют вторичное происхождение. Первыми процессами, освобождающими энергию в первоначальном живом веществе, были процессы, связанные с молекулярными перестройками, аналогичные процессам брожения. Отсюда следует, что вначале должны были возникнуть организмы гетеротрофные с интрамолекулярным дыханием, не требовавшим свободного кислорода. По всей вероятности, только после сложной эволюции определенной длительности появились автотрофные существа, использующие солнечную радиацию для усвоения CO_2 и H_2O .

Таким образом, та организация живого вещества, на основе которой зародились современные клетки, уже значительно продвинулась вперед, прежде чем появились автотрофные существа. В общем представляется несомненным, что автотрофное питание требует гораздо более сложной организации, чем гетеротрофный обмен веществ.

Древнейшая жизнь, вероятно, существовала в качестве гетеротрофных бактерий, получивших пищу и энергию от органического материала абиогенного происхождения, образовавшегося еще раньше. Отсюда нетрудно себе представить, что начало жизни как таковой отодвигается еще дальше, за пределы каменной летописи земной коры, т. е. более чем на 4 млрд лет назад.

Учитывая вышесказанное, нетрудно прийти к общему заключению о том, что жизнь на Земле существует примерно столько же времени, сколько существует и сама планета. Это заключение, основанное на новом научном материале, следует считать эмпирическим обобщением. Оно согласуется с представлениями В. И. Вернадского, который более 50 лет назад писал: "Для нашей планеты эмпирически установлено существование жизни в самых древних доступных отложениях, нам на нашей планете известных. С другой стороны, нигде не нашли мы в биосфере горных пород, которые указывали бы на их образование в течение времени в отсутствие живого вещества. Даже массивные породы, как вулканические, так и плутонические, несут в себе несомненные следы существования живого вещества в условиях их образования.

И правильно, как следствие этого эмпирического вывода, в последнее время введено американскими геологами представление криптозойского зона, т. е. скрытножизненного, отвечающего самым древним по возрасту и самым длительным по времени периодам геологической истории нашей планеты. Эмпирически, таким образом, мы не нашли указаний на время, когда живого вещества на нашей планете не было. Жизнь на ней геологически вечна" [Вернадский, 1965, с. 152].



Длительность эволюции крупнейших групп организмов представлена на рис. 8. По мнению советского микробиолога Г. А. Заварзина [1984], данные о времени появления древнейших прокариот позволяют считать, что жизнь возникла не в земных пределах, а в космосе. Таким образом, на современном этапе наших знаний выясняется, что проблема происхождения жизни становится также проблемой космохимической, а не только биологической и биохимической.

В свете новых данных неизбежно следует вывод о весьма раннем зарождении жизни в пределах Солнечной системы. Химическая эволюция как существенная предпосылка эволюции биологической началась еще в космических условиях до образования Земли. Отсюда перед нами встает задача—установить способ возникновения ближайших предшественников жизни в процессе формирования самой Солнечной системы.

Органические соединения в космосе

Я удивляюсь только, что этот невероятно сложный механизм еще вообще работает. Когда думаешь о Жизни, становится ясно, как жалка и примитивна наша наука. Очевидно, что свойства живого существа предопределяются оплодотворенной клеткой, так и жизнь предопределена существованием атома, и таинство всего сущего заключается в самой низшей ступени,

А. Эйштейн

Взаимоотношение зародышей жизни и ее предшественников - сложных соединений углерода - представляет собой первостепенную научную задачу. Первые опыты Л. Пастера, поставленные во второй половине XIX в., показали невозможность в современных условиях Земли зарождения жизни - простейших живых организмов. Это в какой-то мере привело к возникновению идей панспермии*, согласно которым жизнь на Земле вообще никогда не зарождалась, а была занесена из космического пространства, где она существовала в виде зародышей. Наиболее характерными сторонниками этих представлений выступили Г. Гельмгольц и С. Аррениус, хотя ранее подобные идеи высказывались Ю. Либихом. По С. Аррениусу, частицы живого вещества - споры или бактерии, осевшие на микрочастицах космической пыли, силой светового давления переносятся с одной планеты на другую, сохраняя свою жизнеспособность. При попадании спор на планету с подходящими условиями для жизни они прорастают и дают начало биологической эволюции.

В несколько иных формах эти представления возрождаются в наше время. Например, Ф. Хойл выдвинул идею о возможности существования микроорганизмов в межзвездном пространстве. Согласно его представлениям, облака космической пыли сложены преимущественно бактериями и спорами. Предполагается, что в промежутке времени 4,6-3,8 млрд лет назад на Земле были возможны два события - или зарождение жизни на самой планете, или привнес микроорганизмов из космического пространства. Ф. Хойл и С. Викрамсинг в 1981 г. допустили, что последнее более вероятно. Согласно их расчетам, ежегод-Ео в верхнюю атмосферу Земли поступает 10¹⁸ космических спор, как остаток твердого материала, рассеянного в Солнечной системе. Таким образом, кометы являются переносчиками зародышей жизни, которые образовались ранее в межзвездном пространстве и лишь затем попали в облако Оорта.

* Панспермия (от греч. "пан" - весь, всеобщий, "сперма" - семя) - древнее учение о повсеместном распространении во Вселенной вечных и неизменных зародышей жизни. Впервые встречается у древнегреческого философа Анаксагора (500-428 до н. э.).

Следует отметить крайнюю фантастичность высказанных представлений, которые не согласуются с известными экспериментальными данными. Однако несомненно, что жизнь связана с космосом по атомному составу и в энергетическом отношении. Это можно видеть из табл. 6, в которой даны величины относительного распространения элементов в космосе, в летучей фракции комет, в бактериях и млекопитающих. Обращает на себя внимание большая близость, а в отдельных случаях и тождественность космического вещества и живого вещества Земли. Главные элементы живого вещества - это широко распространенные элементы космоса. При этом Н, С, N, O - типичные биофильные элементы - наиболее широко распространены в природе.

Нетрудно сделать вывод, что живые организмы в первую очередь используют наиболее доступные атомы, которые, кроме того, способны образовывать устойчивые и кратные химические связи. Известно, что углерод может формировать длинные цепи, что приводит в возникновению бесчисленных полимеров. Сера и фосфор также могут образовывать кратные связи. Сера входит в состав белков, а фосфор - в состав нуклеиновых кислот.

В соответствующих условиях наиболее распространенные атомы соединяются друг с другом, образуя молекулы, которые обнаружены в космических облаках методами современной радиоастрономии. Большая часть известных космических молекул относится к органическим, включая наиболее сложные 8- и 11-атомные. Таким образом, в отношении состава космохимии Вселенной создает обширные возможности для различных комбинаций углерода с другими элементами по законам химической связи.

Однако проблема образования молекул в космических условиях относится к труднейшим проблемам космохимии. Собственно в межзвездной среде, даже в наиболее плотных ее участках, элементы находятся в условиях, далеких от термодинамического равновесия. В силу низкой концентрации вещества химические реакции в межзвездном пространстве крайне маловероятны. Поэтому было высказано предположение, что в построении межзвездных молекул принимают участие частицы космической пыли. В наиболее простом случае могут возникать молекулы водорода при контакте его атомов с твердыми частицами, Наиболее распространенные молекулы космоса CO, вероятно, способны зарождаться в условиях звездных атмосфер при достаточной плотности вещества и затем выбрасываться в космическое пространство.

Т а б л и ц а 6. Сравнительная распространенность элементов, ат. %					
Элемент	Космическая	Меж- звездная	Летучая фракция комет	Бактерии	Млеко- питающие
H	76,5	55	56	63,0	61,0
O	0,82	30	31	29,0	26,0
C	0,34	13	10	6,4	10,3
N	0,12	1	2,7	1,4	2,4
S	0,0015	0,8	0,3	0,06	0,13
P	0,00002	—	—	0,12	0,13
Ca	0,002	—	—	—	0,23
H/O	14 000	1,8	1,8	2,2	2,3
C/O	0,64	0,43	0,32	0,22	0,40
N/O	0,12	0,03	0,08	0,05	0,09

В настоящее время все более четко вырисовывается роль твердой фазы в формировании молекул органических веществ в космическом пространстве. Наиболее вероятные модели этого процесса разработаны Дж. Гринбергом [1984]. По мнению ученого, частицы космической пыли имеют сложное строение и состоят из ядра преимущественно силикатного состава, окруженного оболочкой из органических веществ. В оболочке, по-видимому, происходят различные химические процессы, ведущие к усложнению строения первоначального вещества. Структура подобных пылевых частиц после первой стадии аккреции подтверждается путем экспериментального моделирования на смеси воды, метана, аммиака и других простых молекул, облученных ультрафиолетовой радиацией при температуре примерно 10 К. Каждая пылинка ведет свое начало от силикатного ядра, возникшего в атмосфере холодной звезды-гиганта. Вокруг ядра формируется ледяная оболочка. Под действием ультрафиолетового излучения некоторые молекулы оболочки (H2O CH4, NH3) диссоциируют с образованием радикалов - реакционноспособных фрагментов молекул. Эти радикалы могут рекомбинировать с образованием других молекул. В результате длительного облучения может появиться более сложная смесь молекул и радикалов (HN2HCO, HOCO, CH3OH, CH3C и др.). При разрушении пылинок под влиянием космических факторов возникшие на их поверхности соединения образуют молекулярные облака.

Если судить по огромным массам молекулярных облаков, то именно они-главные резервуары органического вещества в космосе. Однако найденные в них органические соединения оказываются относительно простыми и еще далекими от тех молекулярных систем, которые смогли бы обеспечить начало жизни на любом благоприятном планетном теле.

Особого внимания заслуживает нахождение органических веществ в метеоритах. Это очень важно для понимания процессов зарождения высокомолекулярных систем как предшественников жизни. Следует отметить, что метеориты совместно со своими родительскими телами - астероидами принадлежат к Солнечной системе. Далее возраст метеоритов, по данным ядерной геохронологии, 4,6-4,5 млрд лет, что в основном совпадает с возрастом Земли и Луны. Следовательно, метеориты, несомненно, являются свидетелями формирования различных химических соединений, в том числе и органических, на самых ранних этапах развития Солнечной системы.

В метеоритах найдены углеводороды, углеводы, пурины, пиримидины, аминокислоты, т. е. те химические соединения, которые входят в состав живого вещества, составляя его основу. Они встречаются в углистых хондритах и астероидах определенных структуры и состава. Больше всего астероидов движется в поясе между Марсом и Юпитером. Если исходить из данных по космохимии комет, то Можно полагать, что область формирования органических соединений охватывала обширное пространство в пределах большей части объема первичной солнечной туманности. Естественно, что в освещении общей проблемы происхождения жизни мы не имеем права игнорировать данные о составе метеоритов. Это обстоятельство в различной степени учитывалось разными авторами гипотез о происхождении жизни. Таким образом, мы вправе сейчас рассматривать известные метеориты в качестве исторических документов - подлинных свидетелей ранней истории Солнечной системы, охватывающей также процессы формирования органических веществ.

Любой метеорит представляет собой твердое тело, состоящее из ряда минеральных фаз. Главными являются силикатная (каменная), металлическая (железоникелевая) и сульфидная (троилитовая). Встречаются также и другие фазы, но они имеют второстепенное значение по своему распространению. В метеоритах встречаются различные минералы, число которых превышает 100, но главными породообразующими являются немногие (оливин, пироксен, полевые шпаты, никелистое железо, троилит и др.). Кроме того, в метеоритах встречено 20 минералов, которых нет в земной коре. К ним относятся карбиды, сульфиды и др., образование которых связано с резко восстановительными условиями. Наиболее существенны концентрации углерода, связанные с органическим веществом, в углистых хондритах.

Принципиально важные сведения об органическом веществе в метеоритах изложены в работах Г. П. Вдовыкина, Э. Авверса, Р. Хаятсу, М. Штудира. Впервые органическое вещество в составе метеоритов выделил знаменитый химик И. Берцелиус при анализе углистого хондрита Ала-ис в 1834 г. Результаты его анализа были настолько впечатляющими, что сам он считал это вещество биологического происхождения. В течение XIX столетия химическими анализами было обнаружено присутствие в метеоритах твердых углеводородов, сложных соединений органики с серой и фосфором. Наиболее тщательно и обстоятельно изучались углистые хондриты, значительная часть углерода которых находится в виде органических соединений. Общее содержание углерода и некоторых других летучих веществ в углистых хондритах характеризуется следующими величинами (в вес. %) :

	C	S	H ₂ O
C1	2,7—5,0	5,2—6,7	18—22
C2	1,1—2,8	2,3—3,7	8—17
C3	0,2—0,6	1,8—2,4	0,1—1,5

Отсюда видно, что содержание углерода (а также серы и воды) максимально в углистых хондритах типа CI, а минимально в хондритах C3. Таким образом, в настоящее время не подлежит сомнению то обстоятельство что в ро-доначальных телах углистых хондритов в результате самих процессов их формирования возникли сложные органические соединения как закономерный итог химической эволюции ранней Солнечной системы.



Элементарный химический состав углистых хондритов за вычетом летучих веществ очень близок к составу обычных хондритов. Главные особенности различных типов уг-иистых хондритов заключаются в следующем.

Тип G1 представлен непрочными черными камнями, при растирании пальцами рассыпающимися в пыль. Мелкозернистая масса составляет в них примерно 95%. В нее вкраплены хондры (микрохондры), состоящие из оливина и магнетита (размером 1-50 мкм). Минеральный состав метеорита этого типа представлен на рис. 9. Углистые хондриты типа CI наиболее богаты органическими веществами абиогенного происхождения.

Тип C2 - это серовато-черные камни, значительно более плотные, чем CI. В основную мелкозернистую массу, составляющую 60% объема, вкраплены значительно более крупные хондры, чем у типа CI. Наблюдаются сростания первичных микрохондр в единый кристалл.

Тип C3 представляет собой твердые камни темно-серого, зеленовато-серого или серого цвета. Мелкозернистая масса занимает 35%. Хондры довольно крупные и хорошо выражены.

Распространенность многих химических элементов в углистых хондритах типа CI обнаруживает ряд характерных отношений, сближающих их с веществом Солнца. Иначе говоря, эти углистые хондриты представляют собой застывшее солнечное вещество, лишенное легких газов.

Органические вещества, найденные в метеоритах, перечислены в табл. 7. Как видно, их список довольно внушительный. Большинство из этих соединений в той или иной степени соответствует универсальным звеньям обмена веществ, известных в живых организмах: аминокислот, белковоподобных полимеров, моно- и полинук-леотидов, порфиринов и других соединений. Близость н составу органических комплексов биологического происхождения оказалась настолько большой, что некоторые авторы стали даже допускать, что в прошлом живые организмы встречались непосредственно в самих метеоритах. По данному вопросу возникла оживленная дискуссия в 60-х годах. Однако тщательные исследования органических соединений из метеоритов не подтвердили наличия оптической активности, что свидетельствует о их абиогенном происхождении.

Сравнение органических веществ метеоритного происхождения с продуктами искусственных реакций типа Фишера-Тропша и ископаемыми органическими веществами биологического происхождения показывает их большую близость, в частности в отношении содержания некоторых углеводородов. Например, в метеоритах преобладают углеводороды с 16 атомами в молекуле, что также наблюдается в земных объектах и продуктах лабораторных экспериментов.

Метеориты являются осколками более крупных тел - астероидов, большая часть которых находится в астероидном поясе на расстоянии 2,3-3,3 а. е. от Солнца. За последние 10 лет в результате астрофизических наблюдений астероидов в области видимой части спектра и инфракрасных волн получены данные, имеющие первостепенное значение для установления генетических взаимоотношений между астероидами и метеоритами. Путем сравнения отражательной способности метеоритов и астероидов удалось установить, что почти все известные классы метеоритов имеют своих аналогов среди изучен-ных астероидов.

Таблица 7. Основные органические соединения, найденные в углистых хондритах	
Углеводороды	Другие соединения
Насыщенные углеводороды н-Алканы Алканы с разветвленной цепью Изопреноиды Циклоалканы	Карбоновые кислоты Жириные кислоты с неразветвленной цепью Бензолкарбоновые кислоты Оксибензойные кислоты
Олефиновые углеводороды Ароматические углеводороды Алкилбензолы Нафталины Аценафтенны Аценафтилены Фенантрены Пирены	Азотистые соединения Пиримидины Пурины Гуанилмочевина Триазины Порфирины Аминокислоты

В зависимости от отражательной способности астероиды подразделяются на две основные большие группы - темные, или С-астероиды, и относительно светлые, или S-астероиды. Для первых характерно низкое альbedo-менее 0,05, для вторых-свыше 0,1. По спектральным отражательным способностям группа С близка к уг-листым хондритам, а S - к железокaменным метеоритам и обычным хондритам. Последние фотометрические измерения в общем подтверждают единство материала метеоритов и астероидов. Поэтому все минеральные, химические и структурные особенности метеоритов, полученные и изученные в земных лабораториях, могут быть перенесены на астероиды.

В результате проведенных исследований удалось установить, что в разных областях астероидного пояса состав астероидов разный. В пределах Солнечной системы выявлена принципиально важная космохимическая закономерность: состав астероидов зависит от гелиоцентрического расстояния. Во внутренней части пояса астероидов находятся тела, близкие к обычным хондритам, но по мере увеличения расстояния от Солнца, в пределах 2,5-3,3 а. е., их становится меньше, а число астероидов типа углистых хондритов, которые занимают господствующее положение в середине и краевых частях астероидного пояса, увеличивается. В целом, по данным современных наблюдений, в астероидном поясе даже преобладают углисто-хондритовые тела.

Если действительно большинство астероидов имеет состав углистых хондритов, то вполне естественно, что они содержат много органического вещества, которое определяет их темную окраску и низкую отражательную способность. Так, самую низкую отражательную способность имеет астероид Бамберга (альbedo 0,03). Это темный и довольно крупный объект в астероидном поясе, имеющий поперечник около 250 км.

За последнее время большой интерес вызывают кометы. Были высказаны предположения, что они участвовали в возникновении жизни на Земле или во всяком случае могли внести определенный вклад в состав ее ранней атмосферы. Они могли и доставить на поверхность зарождавшейся планеты первые органические молекулы. Установилось мнение, что кометы лучше всего отражают первичные условия в Солнечной системе.

Большинство комет располагается на самой периферии Солнечной системы, в так называемом облаке Оор-та. Они имеют чрезвычайно вытянутые орбиты и находятся в сотни и тысячи раз дальше от Солнца, чем Плутон. Из далекой области к Солнцу приближаются долгопериодические кометы. В целом комета представляет собой ком грязного снега. "Снег" в комете сложен обычным водяным льдом с примесью углекислого газа и других замерзших газов неизвестного состава. "Грязь" представляет собой частицы силикатных пород разного размера, вкрапленные в кометный лед. Можно полагать, что в связи с отсутствием химических взаимодействий кометы являются нетронутыми образцами первоначального вещества, из которого образовалась Солнечная система.

По мере приближения к Солнцу летучее вещество комет испаряется и отбрасывается световым давлением, образуя гигантский хвост. Все наблюдаемые кометные явления определяются процессами, связанными с выделением газов и пыли. Входящие в состав кометных хвостов ионы H^+ , OH^- , O^- и H_2O^+ происходят в основном от молекул воды, хотя, по всей вероятности, присутствуют и другие соединения водорода. Атомы, радикалы, молекулы и ионы представляются в следующем виде: в кометах — C, C₂, C₃, CH, CN, CS, CH₃CN, HCN, NH, NH₂, O, OH, H₂, O₂, Na, S, Si; вблизи Солнца — Ca, CO, Cr, Cu, Fe, V; в хвосте — CH⁺, CO⁺, CO₂⁺, CN⁺, N₂⁺.

Всюду в кометах обнаруживаются биофильные элементы, в основном C, O, N и H. В настоящее время о большой долей вероятности установлено, что кометные молекулы близки к тем, которые необходимы для пред-биологической эволюции. Они могут быть представлены молекулами аминокислот, пуринов, пиримидинов. Как отмечает А. Дельсемм [Delsemme, 1981], существует несколько групп данных, указывающих на то, что кометная пыль имеет природу хондритовых метеоритов. Во-первых, она состоит преимущественно из силикатов и соединений углерода. Во-вторых, соотношения металлов, испарившихся из комет при прохождении вблизи Солнца, соответствуют типичным для хондритов соотношениям. В-третьих, пылевые частицы космического происхождения, отражающие, вероятно, вещество комет, очень близки к составу материала углистых хондритов. И в самом деле, анализ образцов космической пыли указывает на то, что 80% или более пылевых частиц размером меньше 1 мкм состоит из вещества, подобного углистым хондритам. Некоторые ученые сравнили содержание углерода в кометах и углистых хондритах и пришли к заключению, что не менее 10% вещества комет представляет собой органические соединения. Природа обнаруженных в кометах химических соединений указывает на большую вероятность того, что порождающие их молекулы по своей сложности сравнимы по крайней мере с молекулами межзвездного пространства.

Таким образом, все данные по космохимии метеоритов, астероидов и комет свидетельствуют о том, что образование органических соединений в Солнечной системе на ранних стадиях ее развития было типичным и массовым явлением. Наиболее интенсивно оно проявилось в пространстве будущего кольца астероидов, но охватывало в разной степени и другие области протопланетной солнечной туманности, включая, вероятно, ту область, из которой возникла Земля. Однако химическая эволюция вещества протосолнечной туманности, дойдя до определенного этапа формирования сложных органических соединений, оказалась как бы замороженной в большинстве тел Солнечной системы, и лишь на Земле она продолжалась, достигнув невероятной сложности в виде живого вещества.

Космическая история углеродных молекул

Любая обоснованная теория происхождения жизни должна объяснить существование соединения, встречающихся в современных организмах, и соединений углерода, обнаруживаемых в метеоритах и в изверженных горных породах.

Дж. Бернал

В течение долгого времени ученые полагали, что синтез органических соединений как предшественников жизни происходил в условиях ранней Земли и что безжизненная атмосфера планеты состояла преимущественно из H_2 , CH_4 , NH_3 с парами H_2O . В этой смеси могли происходить химические реакции синтеза с образованием органических соединений, о чем косвенно свидетельствовали экспериментальные исследования. Первые опыты по получению органических веществ из водород-аммиак-метановой смеси при пропускании через нее электрических разрядов были поставлены в 1953 г. по инициативе американского физикохимика Г. Юри его учеником С. Миллером. Позднее аналогичные результаты были получены советскими исследователями Т. Е. Павловской и А. Г. Пасынским при воздействии на ту же газовую смесь ультрафиолетовых лучей. Реакции этого типа в газовой среде под действием ионизирующей радиации были названы реакциями Миллера-Юри.

Вообще в данной области были проведены многочисленные экспериментальные исследования. Результаты их обычно рассматривались в качестве подтверждения идеи о том, что ультрафиолетовое излучение Солнца и грозовые явления в первичной атмосфере Земли при определенных температурах и давлениях должны были приводить к массовому образованию сложных углеродных соединений, в том числе белков (рис. 10). Однако в свете современных данных подобные представления следует отбросить. Земля принадлежит к внутренним планетам Солнечной системы и образовалась в термодинамических условиях, отличающихся от тех, в которых сформировались гигантские внешние планеты Юпитер и Сатурн. В своих водород-гелиевых атмосферах они действительно содержат CH_4 , NH_3 и другие углеводороды. Наиболее близкой, хотя и не тождественной первичной атмосфере Земли является атмосфера безжизненной Венеры, состоящая преимущественно из CO_2 . Глубинные газы первичной мантии Земли, выделившиеся при вулканических извержениях и давшие начало первичной атмосфере планеты, содержат главным образом H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S , N_2 . Газы аналогичного состава обнаружены в метеоритах. Таким образом, данные современной геохимии и космо-химии не дают никаких указаний на присутствие водорода, аммиака и метана в ранних планетах земной группы.

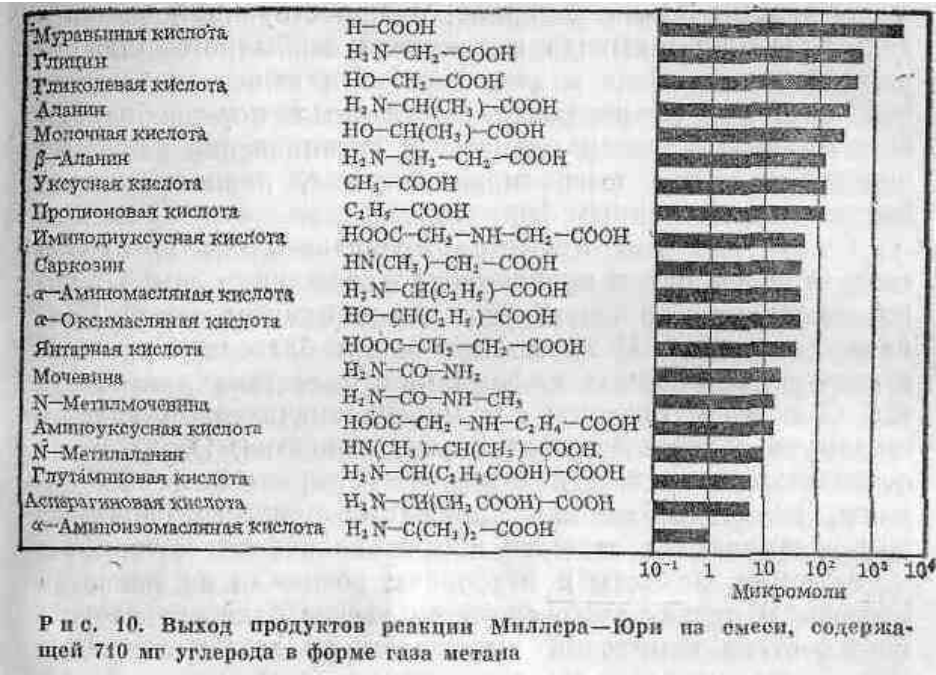


Рис. 10. Выход продуктов реакции Миллера-Юри из смеси, содержащей 710 мг углерода в форме газа метана

Наиболее обильный газ первичной атмосферы Земли был представлен CO_2 . Однако он спонтанно не может превращаться в органические соединения термодинамически менее устойчивые. Скудность водорода или же его быстрая потеря в условиях ранней Земли также резко снижала возможность синтеза органических веществ в атмосфере. На основании изучения физико-химических равновесий в космических условиях Г. Юри пришел к заключению, что при формировании Земли из протопланетной туманности значительная часть первичного метана газопылевого облака улетучилась, так как повысились температуры в районе образования планет земной группы.

Отмеченное свидетельствует в пользу вывода о том, что основная масса органических соединений возникла за пределами Земли в период, предшествующий ее рождению. В таком выводе нет ничего необычного или парадоксального - ведь в ходе эволюции вещества Солнечной системы сформировались главные породообразующие минералы нашей планета и органические вещества вплоть до самых высокомолекулярных, давших начало первичным жизненным формам.

Таким образом, проблема происхождения органических веществ, как и проблема происхождения самой жизни, имеет прямое отношение к космохимии самой Солнечной системы. В настоящее время благодаря существенному расширению информации о составе различных тел Солнечной системы мы можем значительно глубже заглянуть в химическую историю вещества. Эти данные позволяют прийти к некоторым эмпирическим обобщениям, необходимым для понимания процесса образования органических веществ в протопланетной материи.

1. Земля, планеты и метеориты возникли из вещества Солнца. В пользу этого свидетельствует близость изотопного состава химических элементов, их составляющих. Различия химического состава планет и метеоритов - результат позднейших процессов, связанных с дифференциацией и фракционированием первичной более или менее однородной материи солнечного состава.
2. Возраст Земли, Луны, метеоритов и, вероятно, других планет, по данным ядерной геохронологии, 4,6- 4,5 млрд лет. Метеориты, как осколки астероидов, являются древнейшими каменными телами Солнечной системы.
3. Родоначальные тела хондритов - продукты окислительно-восстановительных процессов в протопланетной туманности. У них различная степень окисления. Энстатитовые хондриты наиболее восстановлены, поскольку все железо в них находится в металлическом состоянии, кальций представлен ольгмитом (CaS), фосфор - шрейберзитом (Fe , Ni , Co) $_3P$, хром входит в состав добреелита ($FeCr_2S_4$), а небольшая часть кремния частично растворена в металлическом железе. Материал обычных хондритов более окислен, и перечисленные минералы встречаются в небольших количествах. Углистые хондриты наиболее окисленные из метеоритов. В них все железо химически связано с кислородом в силикатах и магнетите. Сера присутствует в составе сульфатов.
4. Планеты земной группы и астероиды отличаются химическим составом, что отражает условия дифференциации и физико-химических процессов в период их образования. В близких к Солнцу планетах содержится больше металлического железа, чем в более отдаленных. Меркурий на 3/4 состоит из металлической фазы, Венера и Земля - на 1/3, отдаленный Марс - на 1/4. В поясе астероидов ^находятся тела преимущественно типа углистых хондритов, т. е. максимально окисленные. В зависимости от

гелиоцентрического расстояния планеты земной группы и астероиды представляются телами различной степени окисления. Во время образования Солнечной системы ближе к Солнцу процессы окисления железа (и других веществ) протекали слабо, а по мере удаления от него интенсивность их возрастала.

5. Образование тяжелых радиоактивных и других элементов завершилось непосредственно перед формированием Солнечной системы. В метеоритах и отдельных их минеральных фракциях обнаружены следы вымерших радиоактивных изотопов: ²⁶Al, ¹²⁹I, ¹⁴⁶Sm, ²³⁶U, ²⁴⁴Pu, ²⁴⁷Cm. Происхождение Солнечной системы связано с происхождением химических элементов. Период времени между окончанием естественного ядерного синтеза и возникновением твердых тел в Солнечной системе оценивается примерно в 50-100 млн лет. Именно в этом промежутке при охлаждении солнечного газа образовались мелкие частицы и капельки как продукты конденсации, которые в дальнейшем послужили строительным материалом для планет земной группы и метеоритных тел.

6. Вся Солнечная система химически дифференцирована. Ее тела изменяют свой состав в зависимости от гелиоцентрического расстояния, что является отражением установившейся определенной химической зональности протопланетной туманности в период ее образования. Так, если мы учтем главные планетные компоненты в виде следующего ряда: Fe-(O, Si, Mg)-H₂O-CH₄, то по мере возрастания расстояния от Солнца в соответствующих телах увеличивается содержание компонентов слева направо. Ближайший к Солнцу Меркурий содержит преимущественно два первых компонента, в углистых хондритах - астероидах все железо окислено и уже содержится заметное количество H₂O. Большая часть спутников гигантских планет покрыта льдом (H₂O), а далекий Плутон состоит из верхней оболочки, сложенной метаном (CH₄).

Указанные положения, основанные на современном кос-мохимическом материале, позволяют прийти к общему заключению о том, что происхождение Солнечной системы в первую очередь было связано с физико-химическими процессами в широком смысле слова. Эти процессы зависели от гелиоцентрического расстояния и степени охлаждения вещества в определенной зоне туманности.

В результате усилий довольно широкого круга исследователей на смену космогоническим гипотезам приходит новая теория, опирающаяся главным образом на данные космохимии и учитывающая физико-химические процессы при охлаждении первичной солнечной туманности, которые привели к химической неоднородности различных тел Солнечной системы,

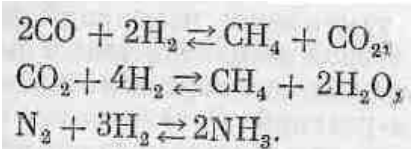
Формирование химического состава Земли и планет определялось последовательной конденсацией элементов и их соединений в порядке, обратном их летучести, - из газовой системы приближенно солнечного состава: сперва тугоплавких, затем труднолетучих и наконец наиболее летучих элементов и их соединений. Температуры конденсации элементов и их соединений из газа солнечного состава при охлаждении ниже 2000 К были вычислены по уравнениям химической термодинамики Э. Андерсом, Дж. Ларимером, Л. Гроссманом, Дж. Льюисом и другими авторами. В широких пределах возможных давлений первыми выделяются капли железа при температуре 1500 К и ниже, затем силикаты магнезия (Mg₂SiO₄, MgSiO₃), сульфиды (FeS). В конце, ниже 200 К, конденсируются такие вещества, как вода (лед) и ртуть. Результаты этих расчетов следует принимать как первое приближение к решению химической эволюции протопланетной туманности. В действительности в ней происходили сложные процессы взаимодействия между всеми химическими элементами таблицы Менделеева, а также между ранее выделившимися кон-денсатами и окружающей средой газовой фазы.

В самом общем виде можно себе представить, что образование планет совершалось в два этапа. Первый этап знаменовался охлаждением и конденсацией вещества газовой туманности. В связи с разной скоростью остывания в зависимости от гелиоцентрического расстояния туманность в отдельных зонах приобрела различный химический состав. Эта неоднородность увеличивалась под влиянием солнечных лучей, которые отбрасывали легкие газы в периферическую часть Солнечной системы, в область формирования гигантских планет. Второй этап - это процесс аккумуля-ции конденсированных частиц в протопланеты. Можно допустить, что оба этапа не были разделены сколько-нибудь значительным промежутком времени. Аккумуляция в определенных участках протопланетной туманности началась тогда, когда конденсация еще не завершилась.

Неясным еще остается вопрос о последовательности аккумуляции протопланетных частиц. Ряд геохимических и физических данных указывает скорее в пользу гетерогенной аккумуляции планеты, когда последовательность аккумуляции повторяла последовательность конденсации. В этом случае верхние горизонты первичной Земли оказались сложными самими последними конденсатами сол-нечной туманности. Центральная часть ядра Земли образовалась при аккумуляции металлического железа, которое покрывлось затем конденсатами в виде смеси металла, силикатов и троилита. Позже всех на поверхность растущей Земли поступил материал, близкий по составу к углистым хондритам, обогащенный летучими и органическими веществами.

На последних стадиях остывания солнечной туманности происходило массовое образование органических соединений в области формирования планет земной группы, астероидного пояса и, вероятно, очень обширного пространства в целом, включая область формирования комет.

В связи с повышенной распространенностью водорода в первичной туманности возникали простейшие его соединения с углеродом и азотом. Поскольку наиболее стабильной формой углерода был СО, то по мере охлаждения сол-нечной туманности происходили следующие реакции:

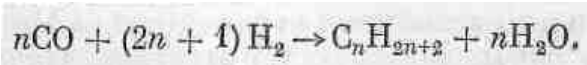


В отдельных областях протопланетной туманности, очевидно в области формирования гигантских планет, куда давлением солнечной радиации были перенесены легкие молекулы, появлялись Н₂, CH₄ NH₃, H₂O. При сочетании этих компонентов могли совершаться реакции типа Миллера-Юри под влиянием ионизирующей радиации, что приводило к образованию многочисленных органических соединений. Однако роль солнечной радиации как ионизирующего фактора, по всей вероятности, была ничтожной. Зараженная пылью протопланетная туманность была непрозрачной для ультрафиолетового света.

Тем не менее можно утверждать, что в ранней Солнечной системе существовали мощные источники радиации, вызывающие фотохимические реакции. К ним относятся повсеместно рассеянные радиоактивные язотопы, ватадя-щиеся как в газовой, так и в твердых пылевых фааах пер"вичной туманности. Современная радиоактивность материала Солнечной системы определяется главным образом наличием изотопов ²³²Th, ²³⁵U, ²³⁸U, ⁴⁰K, которых 4,5 млрд лет назад было значительно ;больше, например ²³⁵U было почти в 80, а ⁴⁰K в 10 раз больше, чем сейчас. Кроме того, в период формирования планет и родоначальных метеоритных тел, возникших в связи с завершением процессов ядерного синтеза, присутствовали сильно радиоактивные изотопы. Однако они вскоре вымерли, поскольку обладали периодом полураспада в пределах 1-100 млн лет. Некоторые из вымерших радиоактивных изотопов пред-ставлены в табл. 8.

Учитывая эти обстоятельства, нетрудно заключить, что сама естественная радиоактивность как наследство болев древней космической эпохи синтеза нуклидов в виде альфа-, вета- и гамма-излучений могла и должна была ионизировать окружающую среду, стимулируя многие химические реакции, в том числе синтез органических соединений. Таким образом, само вещество, законы сил, заложенных в атомах, включая свойства 'ядер и электронных оболочек, определили в исторической последовательности оптимальную обстановку для создания высокомолекулярных органических соединений.

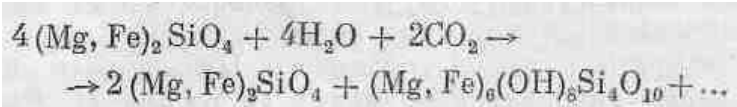
По мере выделения из газовой фазы твердых частиц при охлаждении солнечной туманности и реакций этих частиц с оставшейся газовой средой возникали также определенные соединения, которые явились хорошими катализаторами многих химических реакций. Органические соединения, найденные в метеоритах, образовывались преимущественно путем химических реакций между Н, СО и простейшими соединениями N. Наиболее вероятны в этих условиях реакции типа Фишера-Тропша. В общем виде их можно записать так:



Реакции этого типа протекают даже в благоприятных термодинамических условиях очень медленно, но они резко ускоряются в присутствии катализаторов.

Т а б л и ц а 8. Вымершие радиоактивные изотопы			
Радиоактивный изотоп	Период полу-распада, лет	Тип распада	Продукт распада
Алюминий ²⁶ Al	0,74·10 ⁶	β^+ -Распад	²⁶ Mg
Ниобий ⁹² Nb	3,3·10 ⁷	ϵ -Захват	⁹² Zr
Палладий ¹⁰⁷ Pd	7·10 ⁶	β -Распад	¹⁰⁷ Ag
Йод ¹²⁹ I	1,7·10 ⁷	β -Распад	¹²⁹ Xe
Самарий ¹⁴⁷ Sm	5·10 ⁷	α -Распад	¹⁴³ Nd
Свинец ²⁰⁵ Pb	5·10 ⁷	ϵ -Захват	²⁰⁵ Tl
Уран ²³⁶ U	2,4·10 ⁷	α -Распад	²³² Th
Плутоний ²⁴⁴ Pu	8,2·10 ⁷	α -Распад и осколочное деление	
Кюрий ²⁴⁷ Cm	1,64·10 ⁷		
Z=114–116	n·10 ⁸ ?		

На последних стадиях остывания солнечной туманности, когда основные тугоплавкие компоненты (металлическое железо, силикаты, окислы и др.) уже конденсировались в виде пылевых частиц, происходили процессы гидратации ранее выделившихся силикатов (преимущественно оливина) и образования совместно или позже органических соединений. При температурах ниже 500 К шли реакции гидратации между оливином и парами воды:



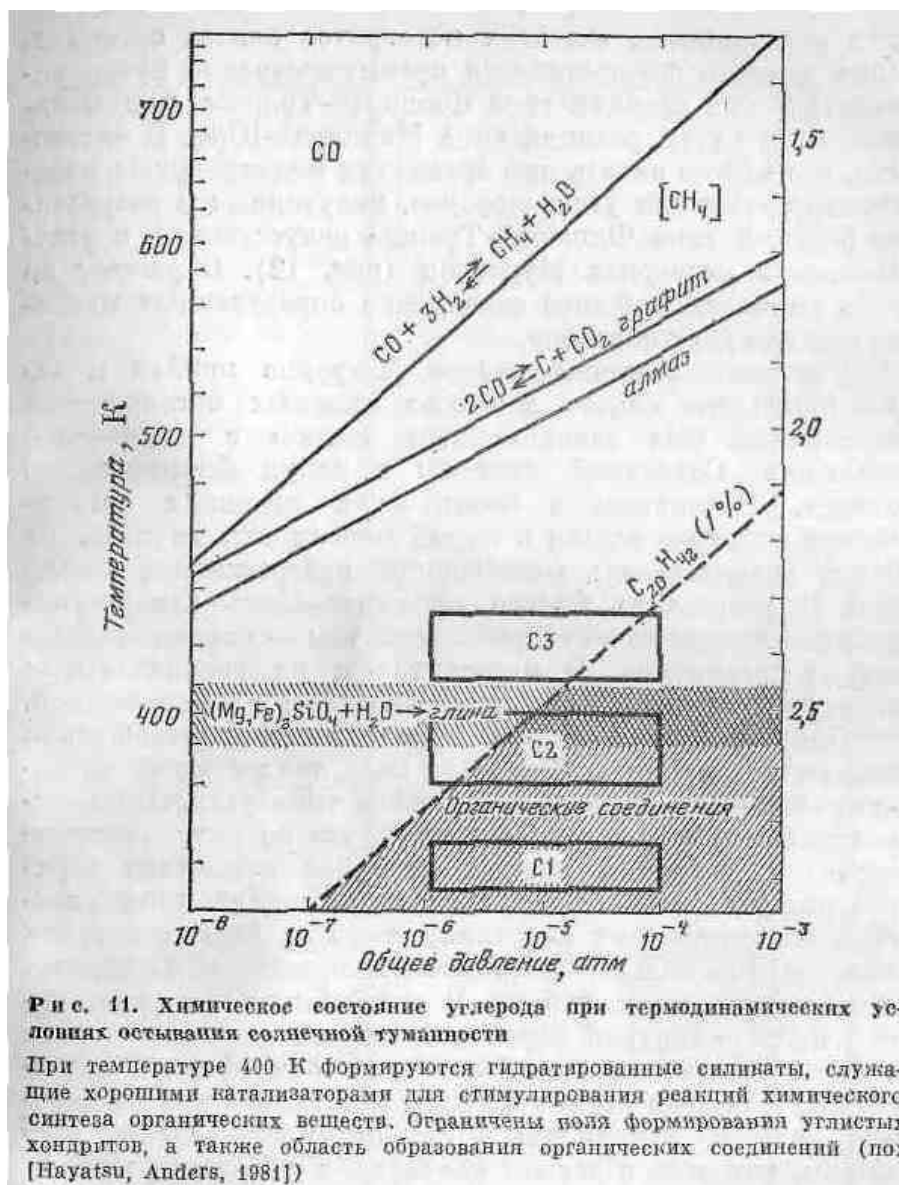
Продукты этих реакций в виде гидратированных силикатов, магнетита и карбонатов действительно слагают основную массу хондритов типа C1 в качестве породообразующих минералов. По данным разных методов, типичные минеральные ассоциации углистых хондритов формировались в интервале температур 300-430 К.

Таким образом, можно заключить, что ассоциация органического вещества с низкотемпературными минеральными комплексами - типичное явление в космохимии метеоритов. По структурным данным органические соединения были синтезированы на поверхности минеральных зерен, впоследствии вошедших в состав углистых хондритов. Под микроскопом было замечено, что много органического вещества метеоритов присутствует в виде скругленных флюоресцирующих частиц от 1 до 3 мкм в диаметре. Ядрышки магнетита или гидратированного силиката найдены в центре этих частиц.

Отмеченные выше процессы каталитического синтеза органических соединений в космических условиях подтверждаются также опытными данными. Экспериментальные исследования по моделированию реакций типа Фишера-Тропша в условиях, близких к космическим, были выполнены Д. Йоширо, Р. Хайясу и Э. Андерсом. Было обнаружено, что когда CO, H2, NH3 вступают в реакции при температурах 150-500°C в присутствии никеля, алюминия или глинистых минералов в качестве катализаторов, то образуются многие органические вещества, включая аминокислоты. Исследования в этой области, в настоящее время ведущиеся довольно интенсивно, подтверждают ранее полученные результаты. Термодинамические условия формирования органических соединений в остывающей газовой туманности солнечного состава представлены на рис. 11.

Следует отметить, что частицы естественных катализаторов в солнечной туманности обладали первоначально также повышенной радиоактивностью, воздействующей на окружающую среду. Поэтому можно полагать, что синтез органических веществ проходил как под влиянием явлений катализа, так и под воздействием радиоактивности.

Пока еще мало опытов по экспериментальному моделированию синтеза органических веществ под непосредственным воздействием излучений радиоактивных изотопов на определенные газовые смеси, которые близки по составу к предполагаемой туманности. Проводились лишь исследования американских ученых С. Палма, М. Кальвина, С. Понамперумы по облучению смеси CH4, NH3, H2O бета-лучами. В результате происходили реакции, которые привели к образованию алифатических соединений, алдегида и аминокислот. Однако особый интерес представляют результаты опытов Д. Гидли и др. [Gidley et al., 1982]. Облучая бета-лучами примитивные газовые смеси, эти исследователи установили, что под действием бета-излучения происходит образование асимметричных молекул органических веществ однородного структурного типа, включая аминокислоты и сахара. В связи с этим следует отметить, что одной из фундаментальных особенностей живой материи является оптическая молекулярная асимметрия главных компонентов организмов -- белков и нуклеиновых кислот. В состав белков входят только L-аминокислоты. В связи с этим можно предположить, что действие излучений радиоактивных элементов было решающим фактором образования асимметричных молекул органических соединений, которые оказались наиболее подходящими для формирования живого вещества,



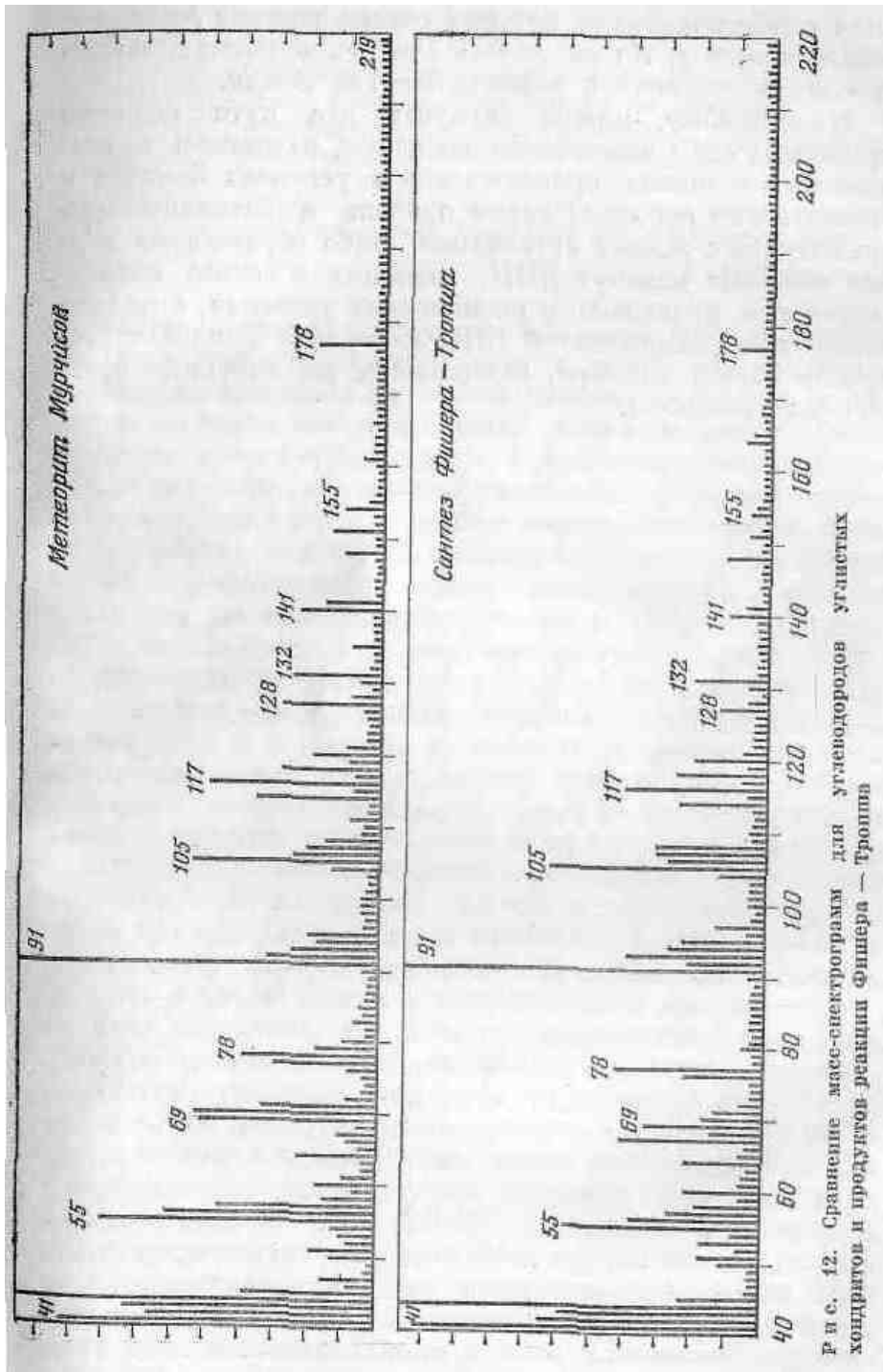
По-видимому, синтез органических веществ в древних космических системах мог происходить при определенных дозах ионизирующей радиации. Радиоактивные излучения высокой интенсивности разрушают химические соединения. Поэтому следует допустить, что при общем снижении радиационного фона в период распада вымерших и ныне существующих радиоактивных изотопов был достигнут какой-то оптимум радиоактивного воздействия на исходные вещества, благоприятный для процессов синтеза органических соединений.

Особенности химических и изотопных данных по уг-листым хондритам показывают, что накануне формирования родительских тел этих метеоритов синтез органических веществ осуществлялся преимущественно путем каталитических реакций типа Фишера-Тропша и в меньшей мере путем реакций типа Миллера-Юри. В частности, это можно видеть при сравнении молекулярных масс-спектрограмм для углеводородов, полученных в результате реакций типа Фишера-Тропша искусственно, и углеводородов метеорита Мурчисон (рис. 12). Обращает на себя внимание хорошее совпадение определенных максимумов для двух образцов.

Учитывая вышеизложенное, нетрудно прийти к заключению, что синтез довольно сложных органических соединений был закономерным этапом в химической эволюции Солнечной системы в канун формирования планет. Возникшие в космических условиях органические вещества вошли в состав многих тел, но лишь на Земле реализовались возможности прогрессивной эволюции. В результате быстро сформировались саморегули-рующиеся высокомолекулярные системы - предки первых живых организмов. В метеоритах и их родоначальных телах химическая эволюция оказалась замороженной.

Органические вещества космического происхождения попали на растущую Землю на последних стадиях ее аккумуляции совместно с материалом типа углистых хондритов. Следует при этом отметить, что по ряду геохимических и изотопных данных материал первичной верхней мантии Земли был близок к материалу типа углистых хондритов как источнику воды и других летучих веществ. Все больше выявляется дополнительных данных в пользу этого заключения. В дальнейшем при радиогенном нагреве верхней первичной мантии выделялись газы и пары, давшие начало образованию атмосферы и гидросферы. При этом были вынесены и органические соединения, которые изменились в сторону прогрессивной эволюции, находясь в тесном контакте с твердыми фазами различной степени измельчения - от коллоидных частиц глинистых минералов до крупных камней и глыб как первых продуктов выветривания новорожденной коры планеты. Этот твердый материал отличался повышенной радиоактивностью на ранних стадиях развития нашей планеты.

Однако насколько далеко продвинулась химическая эволюция вещества в космических условиях, мы не знаем. Те углистые хондриты, которые изучены в отношении содержания органики и недавно к нам попали из пояса астероидов, могут рассматриваться лишь как вероятный аналог того материала, который создал верхние горизонты нашей планеты. Но их нельзя считать полностью тождественными первичной верхней мантии Земли.



По-видимому, можно наметить два пути решения проблемы: либо химическая эволюция, начавшись в космических условиях, продолжалась в условиях Земли и в относительно короткие сроки привела к возникновению примитивных живых организмов, либо образование первых сложных молекул ДНК, лежащих в основе наследственности, произошло в космических условиях, а полная реализация возможностей ДНК наступила в первых водоемах нашей планеты, содержащих растворенные органические вещества.

Возникновение биосферы и главные черты ее развития

Живое вещество всегда, в течение всего геологического времени, было и остается составной частью биосферы, источником энергии, ею захватываемой из солнечных излучений, - веществом, находящимся в активном состоянии, имеющим основное влияние на ход и направление геохимических процессов химических элементов во всей земной коре.

В. И. Вернадский

Развитие органических соединений, как и живого вещества, теснейшим образом связано с водой. Но проблема происхождения воды на нашей планете относится к области изучения заключительных стадий аккреции. Тогда наиболее низкотемпературные конденсаты солнечной туманности - гидратированные силикаты, органические вещества и сама вода в адсорбированном состоянии в твердых частицах или в виде частиц космического льда - завершили формирование планет земной группы. Наиболее полно эти конденсаты представлены в углистых хондри-тах типа CI. Однако на современном уровне знаний можно допустить, что какая-то часть воды поступила на планеты на последних Xf1 стадиях аккреции. Особенно отчетливо выражен этот процесс на ледяных спутниках внешних планет, оболочки которых, по всей вероятности, отражают результат выпадения больших количеств космического снега, покрывшего более раннюю поверхность этих планетных тел. В целом механизм вхождения летучих компонентов в состав планет земной группы представляет собой трудную, нерешенную проблему. Также важной и нерешенной остается проблема вхождения органических веществ в состав Земли и планет земной группы.

Если допустить, что в эпоху завершения образования Земля получила в общей сложности примерно 1% материала типа углистых хондритов, то нетрудно подсчитать, что в начале развития наша планета приобрела п-1017 т органического вещества abiогенного происхождения. Общее количество органического углерода в земной коре оценивается величиной 3,8-1015 т, что на два порядка ниже предполагаемого первичного органического углерода в составе верхних слоев новорожденной Земли. При этом следует учесть, что огромное количество органического вещества земной коры в виде рассеянной органики, угля и нефти возникло потом в ходе фотосинтетической деятельности организмов,

использовавших углекислый газ глубинного мантийного происхождения либо первичной атмосферы, но не то первичное органическое вещество, которое попало на Землю на самых ранних впаках ее развития. Таким образом, общее количество первичного органического вещества, которое Земля мог-яа получить в наследство от протопланетной туманности, не может быть оценено количественно на современном этапе наших знаний. Какая именно доля вещества типа углистых хондритов завершила формирование нашей планеты, пока неизвестно.

Однако данные современной космохимии свидетельствуют о том, что в период своего образования наша планета в общем получила достаточное количество органических соединений, чтобы путем полимеризации аминокислот, сложных углеводов и других соединений возникли саморегулирующиеся системы, необходимые для живого вещества.

По мнению целого ряда исследователей, на ранних этапах своего развития жизнь не была связана с отдельными живыми организмами, а выражалась в едином живом веществе. Согласно В. И. Вернадскому, происхождение жизни сводится к происхождению биосферы, которая с самого начала была сложной саморегулирующейся системой. Большое разнообразие геохимических функций живого вещества вытекало хотя бы из того, что любая, самая примитивная клетка, находясь в водной, морской среде, имела теснейший контакт со всеми химическими элементами таблицы Менделеева. Эти примитивные организмы, естественно, выбирали в процессе жизнедеятельности не все элементы, а в первую очередь те, которые благоприятствовали их росту и совершенствованию целого ряда физиологических процессов.

В этом отношении В. И. Вернадский [1940] отмечал: "Вывод о необходимости одновременной чрезвычайно разнообразной геохимической функции в биосфере представителей жизни является основным условием ее появления. Каково бы это появление ни было, оно должно быть представлено не совокупностью неделимых одного вида, а совокупностью многих видов, морфологически принадлежащих к разным резко разделенным классам организмов, или же гипотетически особой, отличной от видов, неизвестной нам формой живого вещества. Возможность полного осуществления всех геохимических функций организмов в биосфере одноклеточными организмами делает вероятным, что таково было первое появление жизни...

Таким образом, первое появление жизни при создании биосферы должно было произойти не в виде появления какого-нибудь вида организма, а в виде совокупности, отвечающей геохимическим функциям жизни. Должны были сразу появиться биоценозы" (с. 87).

Можно предположить, что химическая эволюция в космической туманности с возрастанием роли каталитических реакций могла привести к образованию молекул ДНК. Однако реализация ее функций оказалась возможной лишь в пределах Земли, где на основании развития живого вещества сформировалась ранняя биосфера как сочетание благоприятных условий для жизни со стороны биокосных систем и самого живого вещества. В остальных телах Солнечной системы химическая эволюция оказалась замороженной.

В настоящее время принято четкое подразделение организмов на автотрофшле и гетеротрофные по способу питания. Однако в ранней биосфере Земли соотношение гетеротрофных и автотрофных организмов было иным. Какое точно, мы еще не знаем. Единственное, что можно допустить, это то, что фотосинтезирующая автотрофная биосфера, отмеченная данными изотопной геохимии 4 млрд лет назад, была образованием вторичным и возникла на основе биосферы иного биогеохимического типа.

Действительно, детальное изучение фотосинтеза показало, что он имеет сложный характер. Этот процесс не мог быть первым в истории живого вещества. Поэтому все гипотезы о первичности автотрофных организмов оказались несостоятельными. В свете современных данных складывается представление о первичности гетеротрофной формы обмена веществ в первичных организмах. В качестве обоснования первичности гетеротрофного питания можно привести следующую аргументацию.

- 1. Все современные организмы обладают системами, приспособленными к использованию готовых органических веществ как исходного строительного материала для процессов биосинтеза.
- 2. Преобладающее большинство видов организмов в современной биосфере Земли может существовать только при постоянном снабжении готовыми органическими веществами.
- 3. У гетеротрофных организмов не встречается никаких признаков или рудиментарных остатков тех специфических ферментных комплексов и биохимических реакций, которые необходимы для автотрофного способа питания. Последний довод наиболее существен. Таким образом, приведенная выше аргументация свидетельствует о вторичности автотрофной фотосинтетической жизни в биосфере на нашей планете.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что первичная биосфера нашей планеты, во-первых, ограничивалась водной средой, во-вторых, была насыщена гетеротрофными организмами, которые питались растворенными в воде органическими веществами, ранее возникшими преимущественно в космохимических условиях. Длительность существования подобной биосферы, скорее всего, занимала небольшой отрезок геологического времени.

Первичные гетеротрофные организмы, обладая свойствами живого вещества, быстро размножались и, естественно, быстро исчерпали свою питательную базу. Поэтому, достигнув максимальной биомассы, они должны были вымирать или перейти к автотрофному фотосинтетическому способу питания. Этот новый способ питания способствовал быстрому расселению организмов у поверхности первичных водоемов. Однако первичная поверхность новорожденной Земли, лишенная свободного кислорода, облучалась ультрафиолетовой радиацией Солнца. Поэтому Г. Гаффрон допустил, что первичные фотохимические механизмы, принимавшие участие в последовательном синтезе органических веществ, а позже и живых организмов, первоначально использовали радиацию в ультрафиолетовой области спектра. Только после возникновения озонового экрана в связи с появлением свободного кислорода как побочного продукта того же фотосинтеза автотрофный фотосинтетический процесс начал использовать излучение в видимой части солнечного спектра. По мнению видного советского биолога М. М. Кам-шилова, жизнь, по всей вероятности, развивалась как круговорот веществ при тесном взаимодействии гетеротрофных и автотрофных организмов. Солнечное излучение было главным энергетическим фактором жизни, и ее возникновение заключалось в установлении круговых обменных процессов с использованием фотонов света.

Первичные гетеротрофные микроорганизмы обитали в древних водоемах лишь некоторое время. Затем их оттеснили фотоавтотрофные организмы, создавшие свободный кислород, который стал настоящим разрушителем для гетеротрофов. Можно полагать, что в раннем океане происходила борьба между первичными и вторичными организмами. В воде, обогащенной сероводородом, было мало свободного кислорода. Он уходил на хемосинтез некоторых организмов и поглощался минеральными недоокис-яенными веществами океана и первичной литосферы. Борьба за существование шла между фотосинтезирую-щими организмами планктона в освещенной части моря и организмами, поглощающими кислород при хемосинтезе и разложении органических остатков. Это стало одной из главных причин, определивших количество свободного кислорода в биосфере. Эта борьба завершилась победой фотосинтезирующих автотрофных организмов, которые, по существу, оттеснили анаэробную микрофлору в зону формирования глубоководных илов. В общем эволюция окислительных функций проходила при возрастании окислительно-восстановительного потенциала.

В настоящее время, исходя из некоторых геохимических данных, мы можем качественно реставрировать состав первичной атмосферы и гидросферы как среды для зарождения и развития ранней жизни. Вода и первичные газы атмосферы относятся к летучим веществам нашей планеты, и естественно, что их история связана с единым процессом дегазации первичной мантии. Ряд компонентов, слагающих в настоящее время осадочные горные породы, гидросферу и атмосферу, .представляют собой действительно летучие вещества. Если сравнить их количество в составе всего комплекса осадочных пород, гидросферы и атмосферы с тем количеством, которое могло освободиться при выветривании п переработке кристаллических изверженных пород земной коры, то обнаружится большая разница, которую В. Руби предложил именовать избытком летучих.

Избыток летучих - довольно внушительная величина и по отдельным компонентам превышает в десятки и даже сотни раз летучий материал от выветривания коренных изверженных пород литосферы. В избытке летучих паров Н2О в 128 раз, СО2 в 83, а Cl в 60 раз больше, чем это могла бы продуцировать первичная земная кора при ее полном интенсивном разрушении. Состав избытка летучих следующий (в вес. %) :

Н ₂ О	92,8	Ar	Следы
С как СО ₂	5,1	Cl ₂	1,7
J ₂	0,13	F ₂	Следы
N ₂	0,24	H ₂	0,07

Т а б л и ц а 9. Состав газов из вулканов, изверженных пород и избытка летучих, вес. %					
Газ	Килауэа и Мауна-Лоа	Базальт и диабаз	Обсидиан, андезит и гранит	Фумаролы, горячие источники и гейзеры	Избыток летучих
H ₂ O	57,8	69,1	85,6	99,4	92,2
С как СО ₂					
СО ₂	23,5	16,8	5,7	0,33	5,1
S ₂	12,6	3,3	0,7	0,03	0,13
N ₂	5,7	2,6	1,7	0,05	0,24
Ar	0,3	Следы	Следы	Следы	Следы
Cl ₂	0,1	1,5	1,9	0,12	1,7
F ₂	0,04	6,6	4,4	0,03	Следы
H ₂	0,04	0,1	0,04	0,05	0,07
Другие	—	—	—	—	—
	100,4	100,0	100,4	100,01	100,04

Состав избытка летучих чрезвычайно близок к составу вулканических газов. Наиболее типичные составы газов глубинного и магматического происхождения представлены в табл. 9.

Если даже СО2 в действующих вулканах возник за счет термического разложения карбонатов, то и в этом случае он был заимствован из более ранней атмосферы в процессе образования самых древних карбонатных осадочных пород.

В порядке распространения вулканические газы сложены из H2O, CO2, N2. При таком составе атмосферы наличие органических соединений и тем более их возникновение термодинамически невыгодно: любые органические соединения, состоящие из Н, С, N, О, менее устойчивы, чем перечисленные выше основные компоненты первичной атмосферы.

При формировании первичных атмосферы и океана находящиеся в ранней мантии довольно сложные органические вещества были в тесном контакте с твердыми частицами силикатов, которые в дальнейшем могли играть роль сильных катализаторов в процессе образования все более сложных соединений.

Данные по вулканическим газам указывают вполне определенно, что в ходе извержения выделялся молекулярный азот (N2), но не аммиак; следовательно, аммиак никогда не был главной составной частью земной атмосферы.

Уже отмечалось, что период существования гетеротрофной биосферы был исключительно коротким, поэтому запасы органических веществ в первичных водоемах не могли возобновляться так же, как запасы автотрофных организмов. Правда, можно допустить, что трупы гетеротрофных организмов все же непрерывно пополняли запас питательных органических веществ. Таким образом, существовал баланс между живыми гетеротрофными и их разложившимися остатками.

Из сказанного можно предположить, что источник живого вещества и воды был единым, точнее, единым был источник летучих на Земле и органического вещества. Это были верхние горизонты мантии, возникшей главным образом за счет аккреции первичного вещества типа уг-листых хондритов. При этом нельзя просто отождествлять материал первичной верхней мантии Земли с материалом углистых хондритов. Речь может идти лишь о близких аналогах, поскольку состав отдельных зон первичной солнечной туманности зависел от гелиоцентрического расстояния.

Первичную атмосферу Земли, с которой так или иначе была связана ранняя жизнь, можно восстановить, сравнив ее с таковой других планет земной группы, таких, как Венера или Марс (табл. 10). С появлением фотосинтеза и свободного кислорода первоначальная атмосфера Земли коренным образом изменилась.

Современный уровень наших знаний позволяет принять в качестве гипотезы положение о том, что химическая эволюция в протопланетной туманности с возрастанiem роли каталитических и радиохимических реакции на заключительных стадиях охлаждения могла привести не только к образованию сложных органических соединений, что является реально установленным фактом, но и к возникновению молекул ДНК.

Следует подчеркнуть одно важное обстоятельство: биологическая эволюция возникшей биосферы проходила необратимым путем, от простого к сложному. На это обстоятельство обратил внимание в 1893 г. видный бельгийский палеонтолог Л. Долло (1857-1931), сформулировавший закон необратимости эволюции. Согласно этому закону, организм не может вернуться, хотя бы частично, к тому состоянию, которое было свойственно его предкам. Далее, ссылаясь на Ч. Дарвина, он отмечал, что эволюционное превращение организмов происходит вследствие закрепления под влиянием естественного отбора, вызванного борьбой за существование полезных индивидуальных вариации. Все виды растений и животных со времени своего появления на Земле обязаны происхождением этому основному закону.

Т а б л и ц а 10. Атмосфера Земли и Венеры			
Компонент	Земля		Венера
	Сейчас	Первоначально *	
N ₂ , %	78	1,5	1,8
O ₂ , %	21	Следы	Следы
Ar, 10 ⁻⁴ %	9000	190	200
CO ₂ , %	0,03	98	98
H ₂ O, км **	3	3	Следы
Давление, бар	1	70 ***	80±3

* Первичный вариант Земли соответствует условиям отсутствия фотосинтеза и карбонатов на Земле.
** Средняя глубина Мирового океана.
*** Для карбоната углерода с распространенностью 9·10²² г.

Необратимость биологической эволюции, естественно, предполагает, что сам процесс возникновения живого вещества и биосферы протекал в необратимых условиях. Наиболее типичным необратимым процессом можно признать радиоактивность. Ее возможная роль в синтезе органических веществ уже ранее была отмечена. Радиоактивность есть общее и наиболее глубокое свойство вещества, отражение процессов построения нуклидов в канун образования Солнечной системы. Радиоактивность создавала тот естественный радиационный фон, в котором протекала химическая эволюция как в космосе, так и на ранней Земле. Еще в 1926 г. было установлено, что при облучении метана происходит полимеризация углеводородов с образованием все более сложных многоатомных молекул.

По всем данным, на нашей планете наиболее благоприятные условия для развития жизни создавались в морской воде - естественном растворе, содержащем все химические элементы. Сама радиоактивность морской воды ранней Земли определялась главным образом растворенными изотопами 40K, 235U, 238U. Учитывая только скорость их распада, нетрудно подсчитать, что сама морская вода была в 20-30 раз более радиоактивной, чем сейчас. Возможно, что дополнительную радиоактивность вносил быстро вымирающий 129I мизерные количества которого могли вызвать различные радиационные и ионизационные эффекты в связи с его сильной удельной радиоактивностью. Так же, вероятно, играли свою роль быстро вымершие радиоактивные изотопы, указанные в табл. 8.

Роль радиоактивности в развитии жизни на Земле представляет собой проблему, к решению которой мы только недавно стали приближаться. Воздействие радиоактивности на живые организмы уменьшалось в ходе геологического времени. При этом мы должны исходить из того факта, что просто организованные водоросли и бактерии переносят значительно более высокие дозы радиации, чем высокоорганизованные формы животных и растений. Отсюда можно высказать предположение, что меньшая чувствительность к радиоактивности простых форм жизни связана с возникновением их в ранние эпохи развития биосферы, когда радиоактивность окружающей среды была выше современной.

Среди металлов, входящих в состав организмов и преимущественно растений, калий наиболее распространенный и обильный элемент. А. И. Перельман высказал предположение, что биофильное поведение калия связано с его радиоактивностью в историческом аспекте. На заре своего развития жизнь, полностью еще не освоив механизм фотосинтеза, нуждалась в источниках энергии. Усваивая калий, первичные организмы получали не только вещество с нужными химическими свойствами, но и дополнительный источник свободной энергии. Это могло определить более интенсивное биологическое усвоение, которое закреплялось наследственностью. Поглощение калия передавалось и более высокоорганизованным формам жизни, для которых радиоактивность уже не имела существенного значения. Однако установившаяся физиологическая роль калия заставляла поглощать его в повышенных количествах.

Основным событием при зарождении первых организмов было образование спиральных молекул ДНК, что в УСЛОВИЯХ обилия органических веществ могло быть относительно быстрым процессом. Однако, по-видимому, возник не один организм, а живое вещество. И лишь значительно позже оно разделилось на индивидуальные сферические формы, ставшие родоначальниками организмов.

В дальнейшем в живом веществе происходили процессы усложнения. Произошло качественное изменение в эволюции живой материи, связанное с точностью воспроизведения нуклеиновых кислот как кодирующего процесса синтеза белков, которые значительно превосходили остальные органические соединения по своим биокатали-тическим свойствам.

В процессе размножения новые организмы занимали все пространство, пригодное для жизни, что явилось важным условием завершения формирования биосферы в целом. В. И. Вернадский выдвинул принцип постоянства биомассы живого вещества, распространив его на всю историю планеты. Этот принцип был и остается глубоким научным обобщением. Однако следует подчеркнуть, что он имеет относительное значение. Величайшая напряженность жизни, выражающаяся в высоких темпах размножения мельчайших организмов, приводит к планетарному равновесию между естественной продукцией живого вещества и его разложением. Поэтому сейчас правильнее говорить о вековой тенденции к установлению постоянства биомассы для определенных, может быть даже значительных, интервалов геологического времени.

По данным молекулярной биологии, древнейшие микробы были представлены гетеротрофными организмами, которые размножались в среде с обильными органическими и минеральными питательными веществами. Эти питательные вещества включали по крайней мере рибозу, дезоксирибозу, фосфат, пурины и их предшественников, пиримидины, разнообразные "белковые" и "небелковые" аминокислоты. На ранних стадиях развития Земли фосфаты Na, K, Ca имелись, вероятно, в достаточном количестве, как продукты выветривания первых горных пород. Кроме того, в качестве пищи могли быть использованы многие неизвестные или неидентифицированные соединения, в том числе некоторые смолообразные длинные полимеры.

Для первых организмов характерным был процесс ферментативного превращения органических веществ - брожение, где акцепторами электронов были другие органические вещества. Осуществление таких превращений в промежуточном обмене едва ли не во всех организмах служит аргументом в пользу древности этих процессов.

В ранней гетеротрофной биосфере Земли вскоре зародились организмы, способные поглощать углекислый газ, используя энергию солнечных лучей. По Л. Маргелис, биосинтетическая фиксация углекислого газа, столь обильного в первичной атмосфере Земли, происходила тремя способами.

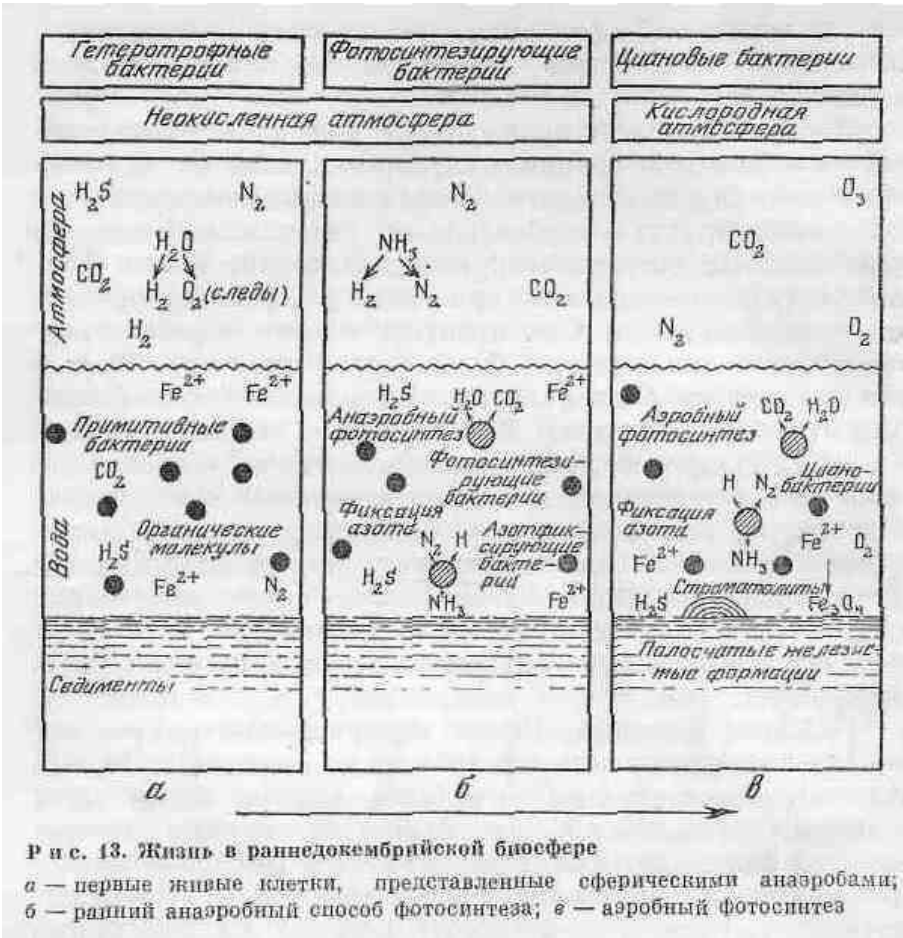
Первая, наиболее примитивная фиксация была свойственна большой группе микроорганизмов, не чувствительных к видимому свету. Вторая возникла при участии фосфосенсинтизазы - карбоксилазы, которая наблюдается у анаэробных фотосинтезирующих бактерий. Третья фиксация CO₂ совершалась при участии рибидоубиофосфат - карбоксилазы. Она присуща многим аэробным организмам и типична для большинства фотосинтетиков и хемосавтотрофов. Почти одновременно выработалась фиксация атмосферного азота. Это идущий с затратой энергии анаэробный процесс, обнаруженный только у прокариот.

Фотосинтетические пигментные системы образовались у прокариот еще до того, как последние в результате симбиоза стали пластидами эукариот. Можно полагать, что фотосинтез с выделением свободного кислорода возник первоначально вовсе не у зеленых растений, а у выделяющих его фотосинтезирующих бактерий и синезеленых водорослей.

Развитие биосферы Земли можно рассматривать как последовательную смену трех этапов (рис. 13). Первый этап - восстановительный - начался еще в космических условиях и завершился на Земле появлением гетеротрофной биосферы. Для первого этапа характерно появление малых сферических анаэробов (рис. 13, а). Присутствуют только следы

свободного кислорода. Ранний способ фотосинтеза был, по существу, анаэробным. Развилась фиксация азота, поскольку часть ультрафиолетовой радиации проникала через атмосферу и быстро разлагала присутствующий аммиак.

Второй этап - слабоокислительный - отмечен появлением фотосинтеза. Он продолжался до завершения осад-конакопления полосчатых железистых формаций докем-брия. Аэробный фотосинтез начался предками цианобак-терий. Кислород производился организмами, строящими строматолиты (рис. 13, б). Но кислород мало накапливался в атмосфере, так как реагировал с железом, растворенным в воде. При этом окислы железа осаждались, образуя полосчатые железистые формации докембрия. Только когда океан освободился от железа и других поливалентных металлов, концентрация кислорода начала возрастать по направлению к современному уровню.



Третий этап характеризуется развитием окислительной фотоавтотрофной биосферы. Он начался с завершения отложений полосчатых железистых кварцитов около 1800 млн лет назад, в эпоху Карельско-Свекофенского орогенеза. Для этого этапа развития биосферы характерно наличие такого количества свободного кислорода, которого достаточно для появления и развития животных, потребляющих его при дыхании.

Последние два этапа в развитии биосферы фиксированы в каменной летописи геологической истории. Первый этап - наиболее далекий и загадочный, и расшифровка его истории связана с решением основных проблем органической космохимии.

Некоторые организмы раннего докембрия, относящиеся к синезеленым водорослям и цианобактериям, мало изменились в ходе геологической истории. Можно полагать, что простейшие организмы обладали наиболее устойчивой персистентностью (от латинского *persiste* - упорствовать). По существу, в течение всей истории Земли не было причин для того, чтобы некоторые морские микроорганизмы, в частности синезеленые водоросли и бактерии, сильно изменились.

Развитие растений

Растения как типичные представители фотоавтотрофных организмов нашей планеты возникли в ходе длительной эволюции, которая ведет свое начало от примитивных обитателей освещенной зоны моря - планктонных и бентос-ных прокариот. Сопоставляя палеонтологические данные с данными сравнительной морфологии и физиологии ныне живущих растений, можно в общем виде наметить следующую хронологическую последовательность их появления и развития:

- 1) бактерии и синезеленые водоросли (прокариоты) ;
- 2) водоросли циановые, зеленые, бурые, красные и др. (эукариоты, как и все последующие организмы) ;
- 3) мхи и печеночники;
- 4) папоротники, хвощи, плауны, семенные папоротники;
- 5) голосеменные (включая шишковые растения) ;
- 6) покрытосеменные, или цветковые, растения.

Бактерии и синезеленые водоросли обнаружены в наиболее древних сохранившихся отложениях докембрия, значительно позже появляются водоросли, и только в фа-нерозое мы встречаем пышное развитие высших растений: плауновых, хвощей,, голосеменных и покрытосеменных.

В течение всего криптозоя в первичных водоемах в эв-фотической зоне древних морей развивались преимущественно одноклеточные организмы - водоросли различного типа.

У основных представителей прокариот, обнаруженных в докембрии, питание было автотрофным - с помощью фотосинтеза. Наиболее благоприятные условия для фотосинтеза создавались в освещенной части моря на глубине от поверхности до 10 м, что соответствовало также условиям мелководного бентоса.

К настоящему времени изучение докембрийских микрофоссилий продвинулось вперед, соответственно накоплен большой фактический материал. В целом интерпретация микроскопических препаратов представляет собой трудную задачу, которую нельзя разрешить однозначно.

Лучше всего выявляются и опознаются трихонные бактерии, резко отличающиеся от минеральных образований близкой формы. Полученный эмпирический материал по микрофоссилиям позволяет заключить, что их можно сопоставить с ныне живущими цианобактериями.

Строматолиты, как биогенные постройки далекого прошлого планеты, образовались при накоплении тонкого осадка карбоната кальция, захватываемого фотосин-тезирующими организмами микробиологических ассоциаций. Микрофоссилии в строматолитах состоят почти исключительно из прокариотических микроорганизмов, относящихся главным образом к синезеленым водорослям - цианofиты. При изучении остатков бентосных микроорганизмов, слагающих строматопиты, выяснилась одна интересная особенность, имеющая принципиальное значение. Микрофоссилии разного возраста мало изменяют свою морфологию и свидетельствуют в целом о консервативности прокариот. Микрофоссилии, относящиеся к про-кариотам, оставались практически постоянными довольно долгое время. Во всяком случае, перед нами установленный факт - эволюция прокариот проходила значительно медленнее, чем высших организмов.

Итак, в ходе геологической истории бактерии-прока-риоты обнаруживают максимальную персистентность. К персистентным формам относятся организмы, сохранившиеся в процессе эволюции в неизменном виде. Как отмечает Г. А. Заварзин [1984], поскольку древние сообщества микроорганизмов обнаруживают значительные черты сходства с современными, развивающимися в гидротермах и в областях образования эвапоритов, то это позволяет на современных природных и лабораторных моделях более обстоятельно изучить геохимическую деятельность этих сообществ, экстраполируя их в далекое докемб-рийское время.

Первые эукариоты возникли в планктонных ассоциациях открытых вод. Конец исключительного господства прокариот относится приблизительно к дате 1,4 млрд лет назад, хотя первые эукариоты появились значительно раньше. Так, по последним данным, облик ископаемых органических остатков из черных сланцев и углистых образований района Верхнего Озера свидетельствует о появлении эукариотических микроорганизмов 1,9 млрд лет назад.

От даты 1,4 млрд лет назад к нашему времени палеонтологическая летопись докембрия значительно расширяется. К этой дате приурочено появление сравнительно крупных форм, относящихся к планктонным эукариотам и получивших название "акритархи" (в переводе с греческого - "существа неизвестного происхождения"). Следует отметить, что группа акритарх (Acritarcha) предложена в качестве неопределенной систематической категории, обозначающей Микрофоссилии различного происхождения, но сходные по внешним морфологическим признакам. В литературе описаны акритархи из докембрия и нижнего палеозоя. Большинство акритарх были, вероятно, одноклеточными фотосинтезирующими эукариотами - оболочками каких-то древних водорослей. Некоторые из них могли еще иметь прокариотическую организацию. На планктонный характер акритарх указывает их космополитическое распространение в разновозрастных осадочных отложениях. Наиболее древние акритархи из отложений раннего рифея Южного Урала обнаружил Т. В. Янкаускас.

В ходе геологического времени размеры акритарх увеличивались. По данным наблюдений, оказалось, что, чем моложе докембрийские Микрофоссилии, тем они крупнее. Допускается, что значительное увеличение размеров акритарх было связано с увеличением размеров эукариотической организации клеток. Они могли появиться как самостоятельные организмы либо, что более вероятно, в симбиозе с другими. Л. Маргелис считает, что эукариотические клетки скомпоновались из уже существовавших прокариотических. Однако для выживания эукариот необходимо было, чтобы среда обитания была насыщена кислородом и, как следствие этого, возник аэробный метаболизм. Первоначально свободный кислород, выделяющийся при фотосинтезе цианofитов, накапливался в ограниченных количествах в мелководных местах обитания. Возрастание его содержания в биосфере вызвало реакцию со стороны организмов: они стали заселять бескислородные места обитания (в частности, анаэробные формы).

Данные докембрийской микропалеонтологии указывают, что в среднем докембрии еще до появления эукариот цианofиты составляли относительно небольшую часть планктона. Эукариоты нуждались в свободном кислороде и все более конкурировали с прокариотами в тех областях биосферы, где появлялся свободный кислород. По имеющимся данным микропалеонтологии можно Судить, что переход от прокариотной к эукариотной флоре древних морей совершался медленно и обе группы организмов долгое время сосуществовали вместе. Впрочем, это сосуществование в иной пропорции происходит и в современную эпоху. К началу позднего рифея уже распространилось множество автотрофных и гетеротрофных форм организмов.

По мере своего развития организмы перемещались за питательными веществами в более глубокие и удаленные от шельфов области моря. В палеонтологической летописи отмечается резкое увеличение разнообразия крупных сферидальных форм эукариотических акритарх в позднерифейское время, 900-700 млн лет назад. Около 800 млн лет назад в Мировом океане появились представители нового класса планктонных организмов - кубкообраз-ные тельца с массивными раковинами или наружными покровами, минерализованными карбонатом кальция или кремнеземом. В начале кембрийского периода в эволюции планктона произошли существенные сдвиги - возникли разнообразные микроорганизмы со сложной скульптурной поверхностью и улучшенной плавучестью. Они дали начало настоящим шиповатым акритархам.

Появление эукариот создало важную предпосылку для зарождения в раннем рифее (около 1,3 млрд лет назад) многоклеточных растений и животных. Для белт-ской серии из докембрия западных штатов Северной Америки их описал еще Ч. Уолкотт, Но к какому типу водорослей они относятся (бурые, зеленые или красные), еще неясно. Таким образом, чрезвычайно длительная эра господства бактерий и близких к ним синезеленых водорослей сменилась эрой водорослей, достигавших в водах древних океанов значительного разнообразия форм и красок. На протяжении позднего рифея и венда многоклеточные водоросли становятся разнообразнее, они сопоставляются с бурыми и красными.

По мнению академика Б. С. Соколова [1979], многоклеточные растения и животные появились почти одновременно. В отложениях венда встречаются разнообразные представители водных растений. Наиболее видное место занимают многоклеточные водоросли, слоевища которых нередко переполняют толщи вендских отложений: аргиллитов, глин, песчаников. Часто встречаются макропланктонные водоросли, колониальные, спиральные-нитчатые водоросли Volymella, войлоковидные и другие формы. Весьма разнообразен фитопланктон.

В течение большей части истории Земли эволюция растений проходила в водной среде. Именно здесь зародилась и прошла различные этапы развития водная растительность. В целом водоросли - это обширная группа низших водных растений, содержащих хлорофилл и вырабатывающих органические вещества путем фотосинтеза. Тело водорослей еще не дифференцировано на корни, листья и другие характерные части. Они представлены одноклеточными, многоклеточными и колониальными формами. Размножение бесполое, вегетативное и половое. Водоросли входят в состав планктона и бентоса. В настоящее время их относят к подцарству растений Thallophyta, у которых тело сложено относительно однородной тканью - слоевищем, или Thallus. Слоевище состоит из многих клеток, сходных по своему виду и функциям. В историческом аспекте водоросли прошли наиболее длительный этап в развитии зеленых растений и в общем геохимическом круговороте вещества биосферы сыграли роль гигантского генератора свободного кислорода. Возникновение и развитие водорослей носило крайне неравномерный характер.

Зеленые водоросли (Chlorophyta) представляют собой обширную и широко распространенную группу преимущественно зеленых растений, которая распадается на пять классов. По внешнему виду они сильно отличаются друг от друга. Зеленые водоросли происходят от зеленых жгутиковых организмов. Об этом свидетельствуют переходные формы - пирамидомонас и хламидомонас, подвижные одноклеточные организмы, обитающие в водах. Размножаются зеленые водоросли половым путем. Некоторые группы зеленых водорослей достигли большого развития в триасовый период.

Жгутиковые (Flagellata) объединяются в группу микроскопических одноклеточных организмов. Одни исследователи относят их к царству растений, другие - к царству животных. Подобно растениям, некоторые жгутико-ые содержат хлорофилл. Однако в отличие от большинства растений они не имеют обособленной клеточной системы и способны переваривать пищу с помощью ферментов, а также жить в темноте, как животные организмы. По всей вероятности, жгутиковые существовали в докембрии, но бесспорные их представители найдены в юрских отложениях.

Бурые водоросли (Phaeophyta) отличаются присутствием бурого пигмента в таком количестве, что он фактически маскирует хлорофилл и придает растениям соответствующую окраску. Бурые водоросли относятся к бентосу и планктону. Самые крупные водоросли достигают 30 м в длину. Почти все они произрастают в соленой воде, поэтому их называют морской травой. К бурым относят саргассовые водоросли - плавающие планктонные формы с большим количеством пузырьков. В ископаемом состоянии известны с силура.

Красные водоросли (Rhodophyta) имеют такую окраску благодаря красному пигменту. Это преимущественно морские растения, сильно разветвленные. У некоторых из них известковый скелет. Эту группу часто называют куллипо-рами. Они существуют и в настоящее время, а в ископаемом состоянии известны с нижнего мела. Близкие к ним сомипоры, с более крупными и широкими клетками, появились в ордовике.

Харовые водоросли (Charophyta) представляют собой весьма своеобразную и довольно высокоорганизованную группу многоклеточных растений, размножающихся половым путем. Они настолько отличаются от других водорослей, что некоторые ботаники относят их к листо-стебельным ввиду наметившейся дифференциации тканей. Харовые водоросли зеленого цвета, обитают в настоящее время в пресной воде и в солоноватых водоемах. Они избегают морской воды с нормальной соленостью, но можно предположить, что в палеозое они населяли моря. У отдельных харофитов возникают споропочки, пропитанные углекислым кальцием. Харовые водоросли принадлежат к важным порообразующим организмам пресноводных известняков.

Диатомовые водоросли (Diatomeae) - типичные представители планктона. У них продолговатая форма, снаружи покрыты панцирем, состоящим из кремнезема. Первые остатки диатомовых водорослей найдены в отложениях девона, но возможно, они древнее. В целом диатомовые водоросли относительно молодая группа. Эволюция их изучена лучше, чем других водорослей, поскольку кремневые панцири и створки диатомей могут сохраняться в ископаемом состоянии очень длительное время. По всей вероятности, диатомовые водоросли происходят от жгутиковых, окрашенных в желтый цвет и способных отлагать в своих оболочках небольшое количество кремнезема. В современную эпоху диатомей широко распространены в пресных и морских водах, изредка встречаются и во влажных почвах. Остатки диатомей известны в юрских отложениях, однако не исключено, что они появились значительно раньше. Ископаемые диатомовые водоросли от раннего мела дошли до современной эпохи без перерыва в отложениях.

Очень важным событием, способствовавшим резкому ускорению темпов эволюции всего живого населения нашей планеты, был выход растений из морской среды на сушу. Выход растений на поверхность континентов можно считать подлинной революцией в истории биосферы. Развитие наземной растительности создало предпосылку для выхода на сушу животных. Однако массовому переходу растений на сушу предшествовал длительный подготовительный период. Можно предполагать, что растительная жизнь на суше появилась очень давно, во всяком случае локально - во влажном климате на побережьях мелководных заливов и лагун, где при изменениях уровня воды периодически происходило поступление водной растительности на сушу. Советский натуралист Л. С. Берг впервые высказал мысль, что поверхность суши не представляла собой безжизненной пустыни ни в кембрии, ни в докембрии. Видный советский палеонтолог Л. Ш. Давиташвили также допускал, что в докембрии на материках, вероятно, уже было какое-то население, состоящее из низкоорганизованных растений и, возможно, даже животных. Однако их общая биомасса была ничтожной.

Чтобы жить на суше, растения должны были не терять воду. Следует при этом иметь в виду, что у высших растений - мхов, папоротникообразных, голосеменных и цветковых, составляющих в настоящее время главную массу земной растительности, соприкасаются с водой только корни, корневые волоски и ризоиды, остальные же их органы находятся в атмосфере и испаряют воду всей поверхностью.

Наиболее расцвела растительная жизнь на берегах лагунных озер и болот. Здесь появился тип растения, нижняя часть которого находилась в воде, а верхняя - в воздушной среде, под прямыми лучами солнца. Несколько позже, с проникновением растений на незатопляемую сушу, самые первые их представители развили корневую систему и получили возможность потреблять грунтовые воды. Это способствовало их выживанию в засушливые периоды. Таким образом, новые обстоятельства привели к расчленению клеток растений на ткани и выработке защитных приспособлений, каких не было у обитавших в воде предков.

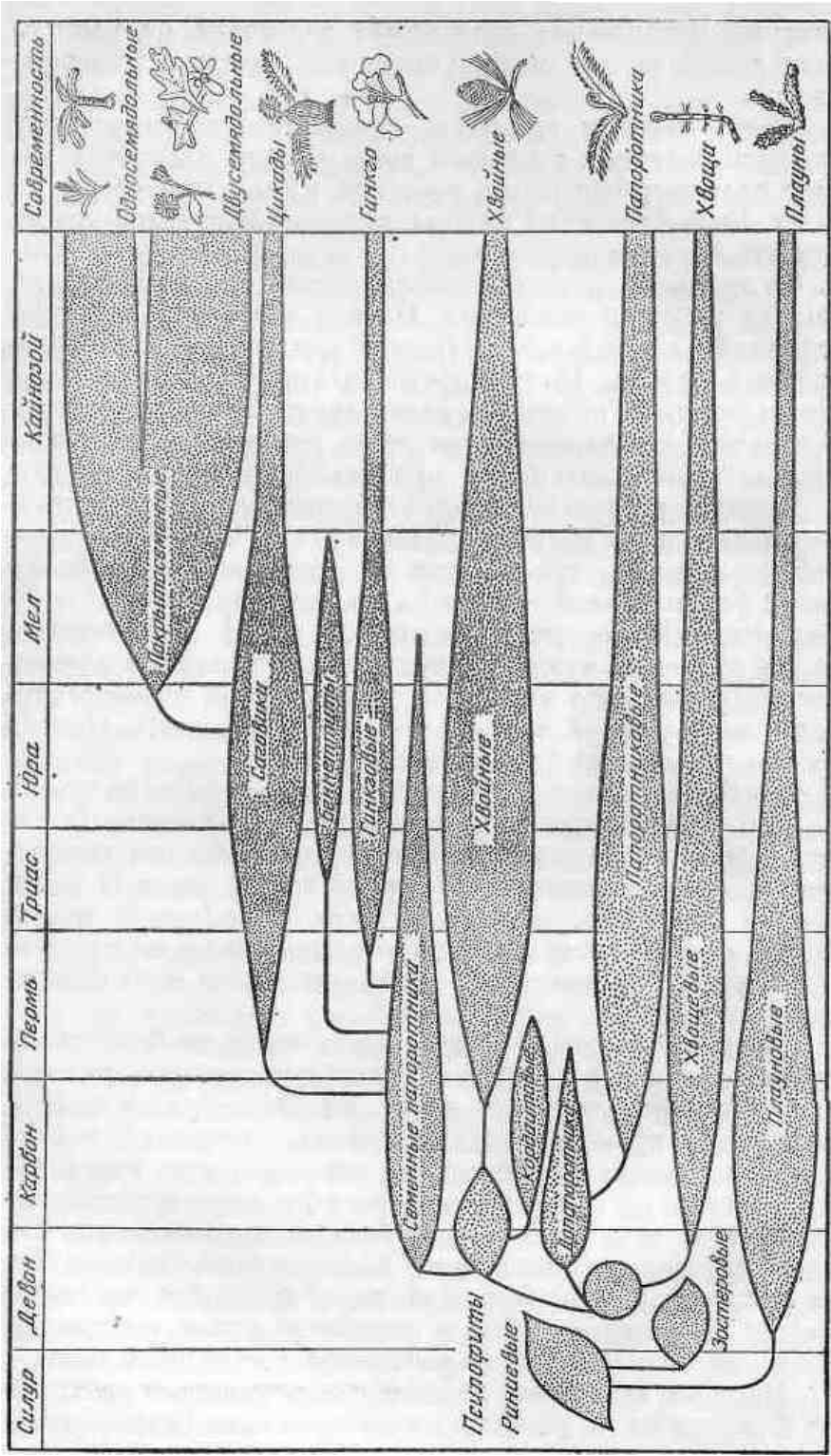


Рис.14. Развитие и генетические связи различных групп наземных растений

Массовое завоевание континентов растениями произошло в силурийский период палеозойской эры. Прежде всего это были псилофиты - своеобразные споровые растения, напоминающие плауны. Часть извилистых стеблей псило-фитов была покрыта щетинистыми листьями. Псилофиты были лишены корней, а в основном и листьев. Они состояли из ветвящихся зеленых стеблей высотой до 23 см и горизонтально тянувшегося в почве корневища. Псилофиты, как первые достоверные растения суши, создавали целые зеленые ковры на влажной почве.

Вероятно, продукция органического вещества первых растительных покровов суши была незначительной. Растительность силурийского периода, несомненно, произошла от водорослей моря и сама породила растительность последующего периода.

После завоевания суши развитие растительности привело к образованию многочисленных и разнообразных форм. Интенсивное разделение растительных групп началось в девоне и продолжалось в последующее геологическое время. Общая родословная важнейших групп растений дана на рис. 14.

Мхи произошли от водорослей. Их ранняя стадия развития очень сходна с некоторыми зелеными водорослями. Однако существует предположение, что мхи произошли от более простых представителей бурых водорослей, приспособившихся к жизни на сырых скалах или вообще в почвах.

На поверхности раннепалеозойских континентов век водорослей сменился веком псилофитов, давших растительность, напоминавшую по своему внешнему виду и размерам современные заросли крупных мхов. Господство псилофитов сменилось в каменноугольный период господством папоротникообразных растений, образовавших довольно обширные леса на болотистых почвах. Развитие этих растений способствовало тому, что состав атмосферного воздуха изменился. Добавилось существенное количество свободного кислорода и накопилась масса пищевых веществ, необходимых для возникновения и развития сухопутных позвоночных животных. В то же время были накоплены огромные массы каменного угля. Каменноугольный период характеризовался исключительным расцветом наземной растительности. Возникли древовидные плауны,

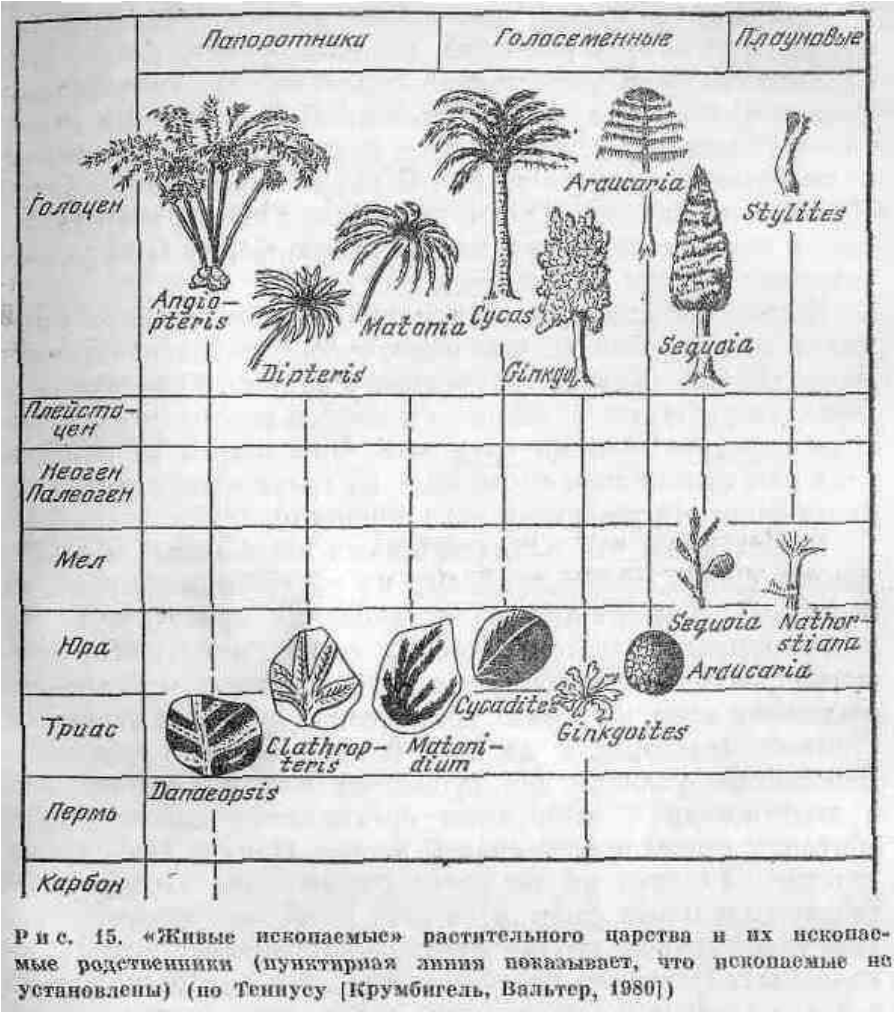
достигавшие в высоту 30 м, огромные хвощи, папоротники, начали появляться хвойные. В пермский период продолжалось развитие наземной растительности, которая значительно расширила места своего обитания.

Период господства папоротникообразных сменился периодом шишконосных хвойных растений. Поверхность материков стала приобретать современный облик. В начале мезозойской эры большое распространение получили хвойные, цикадовые, а в меловой период появляются цветковые растения. В самом начале раннемеловой эпохи еще существовали юрские формы растений, но затем состав растительности сильно изменился. В конце раннемеловой эпохи встречается много покрытосеменных растений. С самого же начала позднемеловой эпохи они оттесняют голосеменные и занимают господствующее положение на суше. В целом в наземной флоре происходит постепенная смена мезозойской растительности голосеменных (хвойных, цикадовых, гинкговых) растительностью кайнозойского облика. Растительность позднемеловой эпохи уже характеризуется присутствием значительного количества таких современных цветковых растений, как бук, ива, береза, платан, лавр, магнолия. Эта перестройка растительности подготовила хорошую кормовую базу для развития высших наземных позвоночных животных - млекопитающих и птиц. Развитие цветковых растений было связано с расцветом многочисленных насекомых, которые играли важную роль в опылении.

Наступление нового периода в развитии растений не приводило к полному уничтожению древних растительных форм. Часть организмов биосферы сохранялась. Бактерии с появлением цветковых растений не только не исчезли, но продолжали существовать, найдя новые источники питания в почве и в органическом веществе растений и животных. Водоросли разных групп изменялись и развивались наряду с высшими растениями.

Хвойные леса, появившиеся в мезозое, произрастают и сейчас наряду с лиственными. Они дают приют папоротникообразным растениям, так как эти древние обитатели туманного и влажного климата каменноугольного периода боятся открытых мест, освещенных солнцем.

Наконец, следует отметить наличие персистентных форм в составе современной флоры. Наиболее персистентными оказались отдельные группы бактерий, практически не изменившиеся со времени раннего докембрия. Но и из более высокоорганизованных форм растений также образовались роды и виды, которые мало изменились к настоящему времени.



Следует отметить несомненное присутствие в составе современной флоры относительно высокоорганизованных многоклеточных родов растений. Позднепалеозойские и мезозойские формы растений, которые без изменений прожили десятки и сотни миллионов лет, безусловно, относятся к персистентным. Таким образом, в настоящее время среди растительного мира сохранились "живые ископаемые" (рис. 15) из групп папоротников, голосеменных и плаунов. Термин "живое ископаемое" впервые употребил Ч. Дарвин, указав в качестве примера восточноазиатское дерево из голосеменных Ginkgo biloba. Из мира наземных растений к живым ископаемым относятся наиболее известные папоротниковые пальмы, гинкговое дерево, араукарии, мамон-тово дерево, или секвойя.

Как отмечал знаток ископаемой флоры А. Н. Криштофович, многие роды растений, владыки древних лесов, также существовали чрезвычайно долго, особенно в палеозое; например, Sigillaria, Lepidodendron, Calamites - не менее 100-130 млн лет. Столько же мезозойские папоротники 11 хвойные Metasequoia. Под Ginkgo насчитывает более 150 млн лет, а современный вид Ginkgo biloba, если включать в него, по существу, неотличимую форму Ginkgo adi-antoides, - около 100 млн лет.

Живые ископаемые современного растительного мира иначе можно назвать филогенетически законсервированными типами. Хорошо изученные в палеоботаническом отношении растения, относимые к живым ископаемым, являются консервативными группами. Они совсем не изменились или изменились очень мало по сравнению с родственными формами геологического прошлого.

Естественно, что наличие живых ископаемых в современной флоре ставит проблему их образования в истории биосферы. Консервативные организации присутствуют во всех крупных филогенетических ветвях и существуют в самых различных условиях: в глубоководных и мелководных зонах моря, в древних тропических лесах, на открытых степных просторах и во всех без исключения водоемах. Важнейшее условие для существования консервативных в эволюционном отношении организмов - наличие мест обитания с постоянной средой жизни. Однако стабильные условия обитания не являются решающими. Присутствие только отдельных форм, а не всех сообществ флоры и фауны указывает на другие факторы сохранности живых ископаемых. Изучение их географического распространения свидетельствует о том, что они приурочены к строго определенным территориям, при этом характерна географическая изоляция. Так, Австралия, острова Мадагаскар и Новая Зеландия - это типичные области распространения наземных живых

ископаемых.

В своей эволюции растительный мир создает общий облик древних ландшафтов, в которых происходило развитие животного мира. Поэтому подразделение геологического времени может быть проведено на основании смены различных растительных форм. Немецкий палеоботаник В. Циммерман еще в 1930 г. подразделил все геологическое прошлое с точки зрения развития растительного мира на шесть эр. Он дал им буквенное обозначение и расположил в последовательности от древних эр к более молодым.

Таблица 11. Геохронологическая шкала и главные эры развития растений			
Эра	Период	Флора	Эра развития растений
Кайнозойская	Четвертичный	Неокайнофитовая	Кайнофитовая
	Третичный	Палеокайнофитовая	
Мезозойская	Меловой	Неомезофитовая	Мезофитовая
	Юрский		
	Триасовый	Палеомезофитовая	
Палеозойская	Пермский	Антраколитовая	Палеофитовая
	Каменноугольный		
	Девонский	Псилофитовая	
	Силурийский		
	Кембрийский	Фикомиксофитовая	Талассофитовая
Протерозойская	Венд		

Сопоставление обычной шкалы геологического времени, построенной преимущественно по палеозоологическим данным, со шкалой развития растений представлено в табл. 11.

Развитие беспозвоночных

История беспозвоночных животных ведет свое начало от одноклеточных простейших организмов (Protozoa), которые ответвились от общего ствола с растениями в до-кембрийское время. Однако у первых примитивных представителей животного царства тело было мягким, поэтому они очень плохо сохранились в геологической летописи. Самые примитивные простейшие имеют общие признаки с одноклеточными зелеными водорослями. В современную эпоху простейшие (радиолярии и глобигерины) составляют значительную часть планктона морей и океанов и играют важную роль в океаническом осадкообразовании.

Все главные типы беспозвоночных животных возникли в докембрии и дали начало в высшей степени разнообразному миру водных и наземных форм в течение всего фанерозоя. Возникновение животных от их растительных предков, естественно, было связано с переходом от авто-трофного способа питания к гетеротрофному. Этот переход, по-видимому, был постепенным, в течение длительного геологического времени. В докембрии происходило развитие различных водорослей, которые послужили основной питательной базой для морских животных.

В настоящее время царство животных, кроме хордовых, включает всех беспозвоночных, подразделяющихся на следующие главные типы:

Одноклеточные	
Тип Простейшие (Protozoa)	
Низшие многоклеточные	
Тип Губки (Spongia)	
Тип Археопаты (Archaeocyathi)	
Высшие многоклеточные	
Двухслойные или лучистые (Radiata)	
Тип Кишечнополостные (Coelenterata)	
Тип Гребневники (Ctenophora)	
а) Первичноротые (Protostomia)	б) Вторичноротые (Deuterostomia)
Тип Низшие черви (Scolecida)	
Тип Кольчатые черви (Annelida)	
Тип Членистоногие (Arthropoda)	
Тип Моллюски (Mollusca)	
Тип Мшанки (Bryozoa)	
Тип Брахиподы (Brachiopoda)	
Тип Иголокожие (Echinodermata)	
Тип Погонифоры (Pogonophora)	

Относительно находок самых древних представителей простейших, которые в дальнейшем послужили исходными формами для всех остальных животных, палеонтологические данные скудны и противоречивы. Одноклеточные животные организмы в древних докембрийских отложениях морфологически не отличаются от растительных микроорганизмов. Поэтому мы должны обратиться к известным промежуточным формам организмов между растениями и животными. К ним относятся одноклеточные жгутико-носцы (Flagellata) или, точнее, некоторые представители класса простейших. Но в пределах этого класса окрашенные жгутиковые объединяются в подкласс растительных жгутиконосцев (Phytomastigina), а бесцветные - в подкласс животных жгутиконосцев (Loomastigina). Жгутиконосцы занимают особое положение в мире животных и растений. Для них характерно наличие жгутиков - органов передвижения. Число их может быть различным - от единицы до нескольких штук, десятков и даже сотен. Среди жгутиконосцев встречаются организмы с разными типами обмена веществ, например с автотрофным и гетеротрофным, а некоторые представители сочетают в себе черты обоих способов питания.

В этом отношении особенно показателен отряд эвглено-вых (см. рис. 2). Многочисленные виды рода *Euglena* широко распространены в современных пресноводных водоемах, и особенно в загрязненных водах. Многие виды эвглен изменяют характер питания в зависимости от условий окружающей среды. При хорошем освещении и при наличии растворенных минеральных веществ в воде эвглены обладают типичным автотрофным способом питания. В их телах совершается фотосинтез с усвоением разных неорганических солей. В темноте в растворе, содержащем органические вещества, эвглены теряют хлорофилл, становятся бесцветными и усваивают из раствора готовые органические вещества.

Так у эвглен совершается переход от автотрофного питания к гетеротрофному. Часто развиваясь в загрязненных водах, в которых обильно растворено органическое вещество, эвглены сочетают оба способа питания - авто-трофный и гетеротрофный. Если обесцвеченных в темных условиях эвглен вновь перенести на свет, то через короткий промежуток времени они снова зеленеют и переходят к автотрофному питанию.

Таким образом, у относительно примитивных одноклеточных организмов животный и растительный типы обмена веществ успешно сочетаются и свидетельствуют о тесной генетической связи обоих царств органического мира нашей планеты.

Простейшие животные по своему строению чрезвычайно разнообразны. Подавляющее их большинство имеет настолько малые размеры, что для их изучения необходимо пользоваться микроскопом. Тип простейших делится на несколько классов, среди которых можно отметить следующие: корненожки (Rhizopoda), споровики (Sporozoa) и инфузории (Infusoria). Фораминиферы из класса корненожек встречаются в ископаемом состоянии начиная с нижнего кембрия. Радиоларии представляют собой шаровидные формы с центральной капсулой и тонкими лучистыми ложноножками. Морские планктонные формы сохранились с докембрия. В частности, в черных кремневых сланцах нижних горизонтов серии Аделаида в Австралии найдены радиоларии, принадлежащие к группе Spumellaria, возможно, присутствуют также представители Nosellaria.

Ископаемые, близкие к простейшим, обнаружены в Западной Африке, в пределах Нигерийского щита, в породах так называемой Бирримийской серии. В 1961 г. французские палеонтологи Р. Ховас и Р. Готторк нашли там ископаемые раковины (Protozoa) диаметром 35-800 мкм с кремневыми стенками. Исследователи предложили назвать их Birrimarpoldia, поскольку эти ископаемые относятся к самым ранним из известных в геологической летописи сфо-раминиферам (радиологический возраст бирримия оценивается в 2 млрд лет).

В 1963 г. советский палеонтолог М. Е. Зильбер описал формы радиоларий из свиты Имандра (Варзуга) в горизонте туфобрекчий и лав на Кольском полуострове.

Таким образом, все данные о находке простейших свидетельствуют об относительно раннем их появлении как представителей эукариот.

Одним из важнейших этапов в развитии живого вещества было возникновение многоклеточных организмов. Относительно происхождения многоклеточных были выдвинуты гипотезы такими выдающимися биологами, как Э. Геккель (1834-1919) и И. И. Мечников (1845-1916). Подавляющее большинство исследователей считают, что колониальность явилась необходимым этапом на пути к организации многоклеточных организмов. В принципе колониальность может легко возникнуть вследствие незаконченного бесполого размножения, когда клетки разделились, но не разошлись. Колонии такого типа часто образуются у бесцветных и зеленых жгутиконосцев, у инфузорий, солнечников, зеленых, синезеленых и диатомовых водорослей.

Вначале клетки, входящие в состав колонии, были одинаковыми. Но впоследствии началось их разделение в соответствии с выполняемыми функциями. Произошла дифференциация на клетки, воспринимающие пищу, определяющие подвижность и воспроизводительные. Различные факты из области анатомии и морфологии простейших, рассмотренные советским зоологом С. С. Шульманом [1974], свидетельствуют о том, что у многих групп простейших имеется определенная тенденция к переходу от одноклеточного к многоклеточному состоянию.

Одна из наиболее вероятных гипотез происхождения многоклеточности была выдвинута в 1935 г. видным советским зоологом В. А. Догелем (1882-1955). По его мнению, многоклеточность есть результат полимеризации. Установлено, что уровень организации живых существ, степень дифференциации и интеграции их частей теснейшим образом связаны с их размерами. Самые малые организмы представлены вирусами. Следующие по сложности - примитивные прокариоты заметно крупнее вирусов, но меньше одноклеточных эукариот. Наконец, многоклеточные эукариоты по своим размерам превосходят одноклеточных. Отсюда, естественно, вытекает: первые живые существа в истории биосферы были небольшими, что объяснялось их несовершенной организацией.

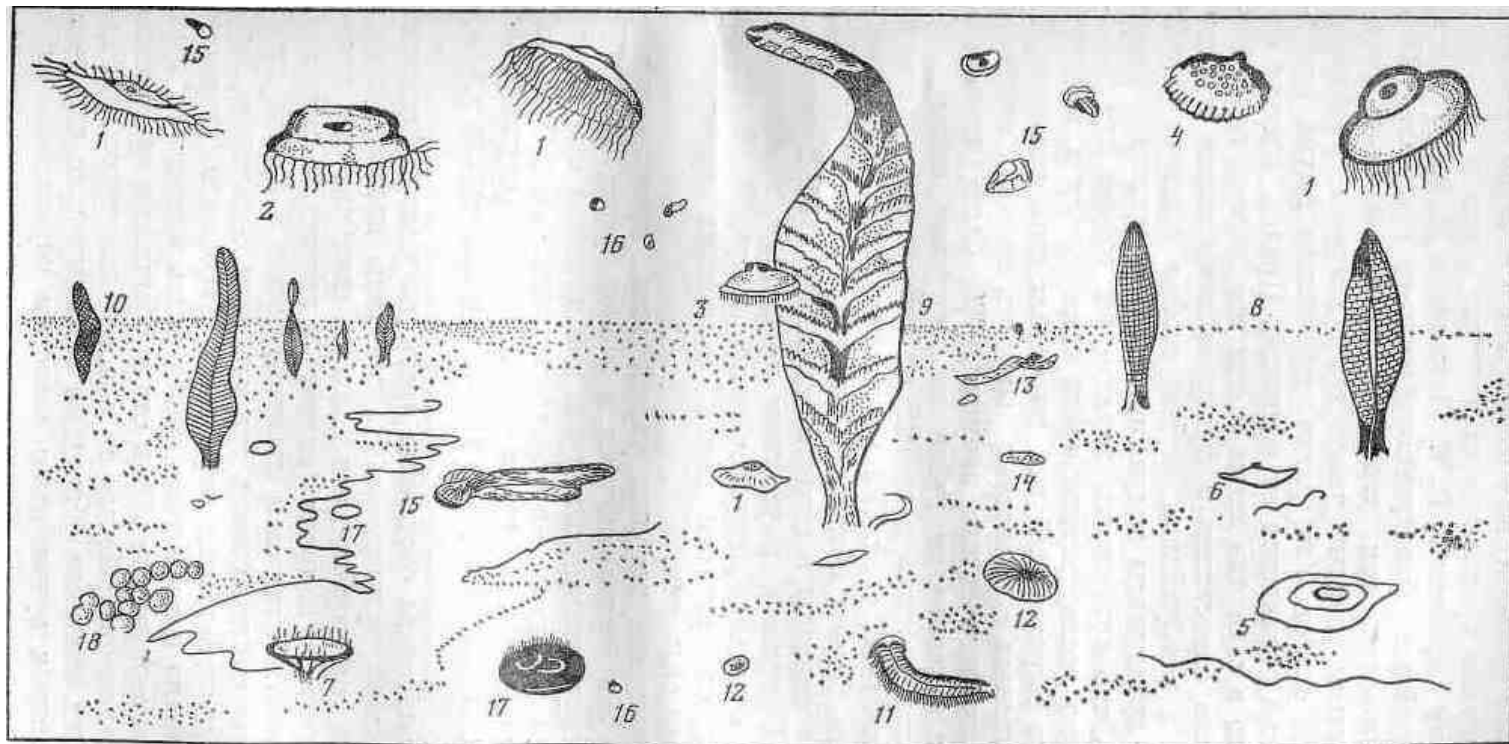
По мнению С. С. Шульмана, прогрессивная эволюция животных с момента возникновения клеточных организмов типа эукариот идет по схеме: организмы олигомерного строения -> организмы полимерного строения -> организмы олигомерного строения на новой основе. В данном случае автор усматривает проявление диалектического закона отрицания отрицания, при котором на последнем этапе имеет место не простое отрицание, а синтез.

На современном уровне знаний можно предполагать, что наиболее перспективными на первом этапе существования многоклеточных могли быть только плавающие примитивные животные, состоящие из недифференцированных клеток, активно добывающие пищу. Необходимость быстрого движения вызвала вначале дифференциацию клеток по способу питания и обмена веществ, движения, а затем все другие прогрессивные изменения, характерные для подцарства многоклеточных животных. В связи со способами размножения и изменчивости, которые сохранились у многоклеточных в наследство от их предков, сами многоклеточные, по-видимому, даже повысили способность участвовать в дальнейших эволюционных преобразованиях, хотя бы по той причине, что усложнение организации открыло новые возможности изменчивости.

В качестве наиболее вероятных предков многоклеточных И. И. Мечников допускал бесцветных жгутиконосцев. Одной из существенных причин для возникновения первых многоклеточных было увеличение содержания свободного кислорода в биосфере. Другая важная предпосылка - появление эукариотических клеток.

Массовое развитие многоклеточных беспозвоночных животных отмечается в позднем докембрии, в венде. Выделение вендского периода было обосновано академиком Б. С. Соколовым. В разных значительно удаленных друг от друга разрезах обнаружена фауна многочисленных беспозвоночных мягкотелых животных. Фауна этого типа первоначально была названа эдиакарской по названию местности Эдиакара в Южной Австралии. Она была обстоятельно описана М. Ф. Глесснером, изучившим свыше 1400 образцов с отпечатками и множество других остатков и следов животных. Для интервала времени 700-600 млн лет назад надежно установлены многочисленные мягкотелые организмы - морские беспозвоночные. Среди находок эдиакарской системы 70 % составляют кишечноротовые (Coelenterata). Из них "А" представляют собой меду-зоподобные плавающие формы либо неприкрепленные колониальные организмы вроде современных сифонофор Ve-lella. Типичные животные эдиакарской фауны показаны на рис. 16. Кишечноротовые представлены колониальными формами, прикрепленными ко дну моря наподобие современных морских перьев. Кроме этих животных, в составе эдиакарской фауны были морские черви, напоминавшие современных полихет, существа без панциря, похожие на членистоногих животных, и трехлучевые дискообразные организмы типа морских звезд. Все они оставили на поверхности дна следы и отпечатки своего тела. Некоторые организмы были довольно крупными. Например, обнаружена медуза почти 1 м в диаметре, морские перья более 1 м в длину. Листовидный морской червь Dickinsonia длиной 1 м имел толщину менее 3 мм.

Венд Русской платформы с его сибирским эквивалентом юдомской серией хронологически совпадает с эдиакарской системой Южной Австралии. Благодаря исследованиям Б. С. Соколова установлено, что вендские отложения характеризуются большим разнообразием фауны бесскелетных, чем эдиакарская система. Вендская фауна СССР представлена десятками видов пелагических и бентосных родов книдарий, аннелид, членистоногих, своеобразных птеродинид (петалонамы?), вероятно, моллюсков и пого-нофор с первыми следами хитинизации трубки. Среди остатков вендской фауны имеется ряд космополитических родов и видов. Вендский биологический комплекс более полиморфен, чем любой из предшествующих.



Р и с. 16. Реконструкция морской фауны Эдиакары (поздний докембрий).

Ископаемые остатки относятся к трем типам животных

1—10 — кишечноротовые Coelenterata; 11—14 — кольчатые черви Annelida; 15, 16 — членистоногие Arthropoda; 17, 18 — происхождение не ясно

Наиболее существенные изменения в истории развития мира животных произошли на границе венда и кембрия. По меткому выражению В. В. Меннера и Н. А. Штрейса, это "величайшая биоистратиграфическая граница". Она характеризовалась тем, что у морских животных стали формироваться твердые части тела: покровы, раковины, внутренний скелет. Уже раннекембрийская фауна коренным образом отличается от вендской. Правда, следует отметить, что в середине венда почти все бесскелетные беспозвоночные относились к фанерозойским типам и классам. Уже в кембрийский период особые сидячие формы бентоса - археоциаты получают широкое развитие. Ранее считалось, что археоциаты характерны только для кембрия. Однако исследователи стали сомневаться в том, что столь ярко выраженный тип животных смог возникнуть, просуществовать и полностью вымереть за столь короткий интервал геологического времени, тем более что столь близкие к археоциатам губки и некоторые кишечноротовые, зародившись в докембрии, прожили несравненно более длительный срок. Сейчас установлено, что археоциато-подобные формы обитали в позднем докембрии. Они найдены и описаны в геологических разрезах Евразии и Африки. Например, в чешском докембрии, в породах с нечетким стратиграфическим положением, А. Г. Волог-дип обнаружил остатки почти настоящих археоциат с двустенным скелетом.

Формирование твердых частей тела происходило у разных групп беспозвоночных в разное время. Так, у одних низкоорганизованных групп оно началось еще в середине венда, у других - в основном в кембрии, у более высокоорганизованных групп - моллюсков (наутилоидей, гастропод и двухстворчатых) и кораллов-ругоз - в ордовике.

Неорганические составные части твердых образований у современных организмов представлены преимущественно безводными карбонатами кальция (кальцит или арагонит), фосфатами кальция (апатит) и кремнеземом разных модификаций. Организмы позднего рифея и начала кембрия больше синтезировали апатиты, чем организмы более молодых геологических периодов. Карбонаты кальция, первоначально синтезировавшиеся лишь немногими эукариотами, к середине кембрия стали обычными продуктами биоминерализации. Позже на основе биогенных карбонатов кальция возникли обширные биологические сообщества, из которых лучше всего известны коралловые рифы.

Кремнезем первоначально откладывался только губками. Впоследствии его стали широко использовать солнечники, радиолярии, диатомовые водоросли, а также некоторые зеленые растения.

Первоначальное усвоение кальция организмами было связано с их физиологическими функциями, и лишь впоследствии он стал осаждать фосфатные и карбонатные ионы, растворенные в морской воде, образуя твердые части тела. Однако до сих пор нет полной ясности в механизме построения твердых частей тела у организмов. Не разгаданы и причины этого, по-видимому, они носили экологический характер. Твердый скелет должен был служить опорой для организма и способствовать увеличению его размеров. Кроме того, твердый скелет, например, у морских губок позволил им занять большее пространство и соответственно поглощать большее количество пищи. У других животных скелет увеличил их прочность в качестве жесткой конструкции. Раковины у ранее мягкотелых животных предохраняли их от физических повреждений. Они стали служить защитой от хищников, которые появились позднее. В результате образования скелетов в кембрии возникли новые способы обитания в области морских мелко-водий. Губки

приобрели возможность фильтровать бактерии, трилобиты - зарываться в донные отложения, моллюски - ползать по поверхности морского дна. Брахиопо-ды, мшанки и иглокожие с помощью скелетов смогли подниматься вертикально из воды, держась чуть-чуть над ее поверхностью, что позволило более эффективно фильтровать воду с микроорганизмами в целях получения пищи. Без твердых частей тела подобный образ жизни был бы невозможен или во всяком случае менее продуктивен. По мнению американского ученого Г. Хатчинсона, появление в начале фанерозоя губок и кишечнополостных, способных фосилизировать-ся, отражает в основном возникновение хищничества, а до этого времени биосфера была в общем мирным царством, в котором защитные панцири не были нужны.

Филогенетические связи ряда важнейших типов беспозвоночных животных по данным палеонтологии и сравнительной анатомии представлены на рис. 17. Не вызывают сомнений достаточно обоснованные положения о происхождении губок и кишечнополостных от одноклеточных животных, низших червей - от кишечнополостных и не-мертин - от низших червей. Кажется также довольно вероятным и зарождение членистоногих от кольчатых червей (морских кольчатых-полихет).

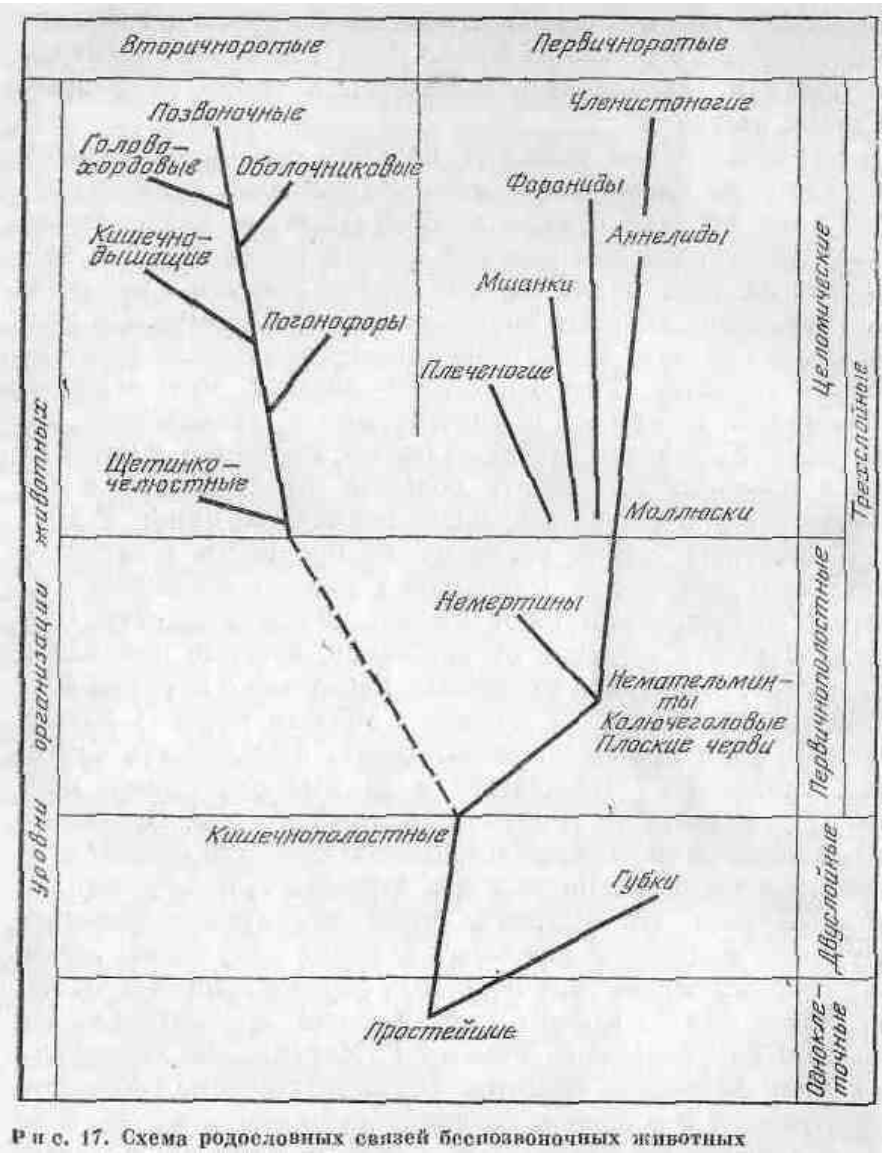


Рис. 17. Схема родословных связей беспозвоночных животных

О возникновении других групп животных известно много меньше. Кроме того, следует учесть, что в основе рис. 17 лежит идея о монофилетическом происхождении животных, которую вполне можно принять для эволюции относительно молодых таксономических единиц. Однако для древних форм, корни которых уходят глубоко в до-кембрий, допустимо полифилетическое происхождение видов.

Рассмотрим кратко пути развития в фанерозое главных типов беспозвоночных животных.

Губки (Porifera или Spongia) являются преимущественно морскими животными, обитающими в пределах шельфа. Все губки, (прикрепленные бентосные организмы) представляют собой примитивный тип многоклеточных животных. Их ткани, предназначенные для выполнения определенных функций, дифференцированы слабее, чем ткани других многоклеточных животных. Губки бывают кубковидными, шаровидными и произвольной формы с мелкими порами, через которые проникает вода с питательными веществами. Большое значение для систематики губок имеют формы игловок их скелета, называемая спикулами. По морфологии губок можно предположить, что они произошли от воротничковых и жгутиконосцев. Размножение губок бесполое и половым путем.

Начало свое губки ведут с позднего докембрия. А. 1. Вологдин и Н. А. Дроздова описали спикулы губок из го-намской свиты в Сибири, возраст которой 1500 млн лет.

Уже в кембрийских морях существовала довольно бо-гатая фауна губок, представленная почти всеми классами и отрядами, дожившими до настоящего времени. Вымершие отряды восьмилучевых и разнолучевых губок встречаются в палеозойских отложениях. Наибольшего расцвета губки достигли в юрский и меловой периоды. Некоторые роды и даже виды меловых губок дожили до настоящего времени. В меловой период, вероятно, появились первые пресноводные губки.

Кишечнополостные. Тип кишечнополостных (Loelenterata) относится к лучистым беспозвоночным животным, для которых характерна радиально-осевая симметрия. Кишечнополостные, самые низкоорганизованные многоклеточные животные среди лучистых, обитают преимущественно в морской среде и значительно реже в пресноводных бассейнах. Группа кишечнополостных ведущих прикрепленный ко дну образ жизни, относится к полипам, а свободноплавающие мягкотелые - к медузам.

Полипы имеют цилиндрическую или бокаловидную форму. Медузы по внешнему виду напоминают колокол или зонтик и плавают ртом вниз. Они бывают разных размеров, самые крупные медузы (Cyanea arctica) имеют зонтик диаметром до 2 м, щупальца растягиваются до 30 м. Тело кишечнополостного организма чаще всего представляет собой мешочек, стенки которого состоят из наружного слоя, или эктодермы, и внутреннего, или энтодермы. Внутри мешкоподобного тела находится пищеварительная полость с единственным отверстием наружу, называемым ротовым. Оно служит как для поглощения питательных веществ, так и для удаления отходов. Кишеч-вополостные обладают простым пищеварительным аппаратом. Непереваренная пища в виде остатков микропланктона и различные шлаки выводятся через ротовое отверстие. Кровеносная система у

животных отсутствует. Нервная система состоит из отдельных нервных клеток, образующих неправильную сеть. Многие прикрепленные формы кишечнополостных имеют скелет, внутренний или наружный, органический или минеральный - известковый.

Большинство кишечнополостных раздельнополые организмы. Но наряду с половым размножением у них широко развито и бесполое, обычно посредством почкования. Иногда один и тот же вид кишечнополостных на разных стадиях жизненного цикла имеет строение то полипа, то медузы. По особенностям своего строения кишечнополостные подразделяются на три класса.

Коралловые полипы образуют в настоящее время наиболее высокоорганизованную группу. Они представлены исключительно морскими одиночными и колониальными формами, ведущими прикрепленный образ жизни. У них отсутствует смена поколений и медузная стадия развития. Настоящие кораллы (Anthozoa - животные цветы) подразделяются на три подкласса: альционарии (восьмилучевые коралловые полипы), табуляты и зоантарии.

Кишечнополостные, вероятно, возникли от свободно-плавающих многоклеточных организмов, которые уже имели клеточную организацию. Когда эти организмы начали вести прикрепленный образ жизни, появились Кишечнополостные гидроидные полипы, от них позднее произошли свободноплавающие медузы и коралловые полипы.

Первые находки кишечнополостных сделаны в разрезах верхнего докембрия. Наиболее древним считается отпечаток большой медузы, диаметром 18 см, в песчаном горизонте Нанкоуип серии Большого Каньона (штат Аризона, США). Отпечаток сохранился на поверхности тонкослоистого и тонкозернистого глинистого песчаника, сцементированного кремнеземом. По мнению американских геологов, серия Большого Каньона сопоставляется с серией Белт, возраст которой находится в пределах 1400-1000 млн лет.

Кишечнополостные наиболее древние из настоящих многоклеточных животных. Большое количество их (70%) обнаружено в эдиакарских отложениях Южной Австралии (см. рис. 16). В отложениях кембрийской системы найдены медузы и трубчатые кораллы - табуляты. В ордовике зарождаются более сложные формы - хететиды и четырехлучевые кораллы - ругозы. В конце пер-ми происходит массовое вымирание этих древних кораллов. В начале мезозоя появляются склерактинии и восьмилучевые кораллы - октокораллы. Эти две группы коралловых полипов продолжают существовать и в настоящее время.

Черви (Vermes). К ним ранее относили весьма разнообразных двусторонне-симметричных животных. В одном конце тела находится ротовое отверстие, а в противоположном - анальное. В настоящее время установлено, что обширная группа форм, объединяемая под названием Vermes, подразделяется на ряд типов. Среди них можно отметить тип плоских червей (Plathelminthes), круглых (Nemathelminthes), немертин (Nemerti-ni) и кольчатых (Annelida). Поскольку черви в большинстве своем лишены твердых частей тела, они плохо сохраняются в ископаемом состоянии. Только в исключительно редких случаях черви доходят до нас в виде окаменелостей или оставляют после себя следы ползания в тонкозернистых породах.

Наиболее древние черви найдены в отложениях эдиа-кария-венда. Кольчатые черви по своему строению приближаются к типу членистоногих. Древние аннелиды, вероятно, были предками членистоногих.

Членистоногие (Arthropoda). Тип членистоногих берет свое начало в позднем докембрии, однако в фанерозе образовалось бесчисленное множество различных форм, резко превышающее число видов всех остальных типов животного мира. К настоящему времени на суше установилось господство двух типов животных - насекомых и позвоночных. Насекомых в составе морской и пресноводной фауны ничтожно мало. Они вторично приспособились к чуждой им водной стихии. Как отмечал В. И. Вернадский, если сравнить по массе людей и насекомых, то последние, по-видимому, преобладают среди форм наземной жизни. Это приводит к заключению, что насекомые являются истинными обитателями суши и их эволюционный путь совершался на поверхности континентов в обычной азот-кислородной атмосфере.

Поскольку, за редким исключением, все виды насекомых обитают на суше, естественно допустить, что, во-первых, для образования столь огромного числа видов потребовалось достаточно продолжительное геологическое время, захватывающее докембрий; во-вторых, насекомые явились первыми животными, населившими сушу. Следовательно, уже в докембрий (вероятно, в середине) должна была существовать благоприятная для этого среда. Главным же фактором было наличие свободного кислорода, необходимого для дыхания. Что касается питания, то здесь можно лишь предполагать. Например, что в прибрежных частях морских водоемов обитали водоросли, периодически попадавшие на сушу и доставлявшие корм наземным насекомым и их предкам. К настоящему времени в докембрийских отложениях не найдено никаких следов насекомых в ископаемом состоянии. Однако эти обстоятельства едва ли можно считать существенными, так как насекомые в ископаемом состоянии вообще встречаются значительно реже, чем другие представители тех же групп водных членистоногих. Это достаточно очевидно вытекает из наличия весьма нежного хитинового покрова, хрупкости их тел и образа жизни большинства насекомых. Даже в фанерозе в ископаемом состоянии насекомые встречаются крайне редко, Первичнобескрылые насекомые (из отряда Gollembola) впервые были найдены в отложениях верхнего девона. Но насекомые из отложений каменноугольной системы очень разнообразны: и приобретают хорошо развитые крылья и довольно крупные размеры, максимальные в истории мира насекомых. Эти данные, несомненно, говорят о том, что древнейшие насекомые появились гораздо раньше.

В геологических разрезах известны остатки также других классов членистоногих. К древним представителям членистоногих относятся трилобиты, мечехвосты, скорпионы и ракоскорпионы. Наибольшего размера достигали ракоскорпионы в силурийских морях, до 1 м в длину. Древнейшие скорпионы найдены в отложениях силурийской системы.

Моллюски (Mollusca). Тип моллюсков, или мягкотелых, представляет собой обособленную группу беспозвоночных животных, давших в фанерозе огромное число разнообразных форм, уступающее только членистоногим. Тело моллюсков состоит из головы, несегментированного туловища и ноги. Все моллюски относятся к симметрич-но-вторичнополостным животным. Для большинства из них характерна твердая минеральная раковина, часто покрывающая все тело животного. Хотя в настоящее время принято выделять 8-10 классов моллюсков, наибольшее значение в геологической истории имели только три: головоногие (Cephalopoda), брюхоногие (Gastropo-da) и двустворчатые (Bivalvia). Все они сыграли выдающуюся роль в установлении стратиграфии фанерозоя. Большинство моллюсков водные животные, и лишь немногие представители класса брюхоногих вышли на сушу и приобрели легкие. Обособление моллюсков от других примитивных животных в процессе эволюции должно было произойти еще в докембрий.

Головоногие моллюски, получившие широкое развитие в раннем ордовике, вели кочевой образ жизни и питались живыми и мертвыми мелкими организмами. Позже некоторые из них, став плотоядными, перешли в разряд первых в истории животного мира хищников. Вероятно, в раннем палеозое существовали головоногие без скелетов, напоминавшие современных осьминогов и кальмаров. Головоногие моллюски были первыми животными, свободно плававшими в открытых водоемах на разной глубине. Они достигали высокой численности в морях ордовика. Длина отдельных животных составляла 10 м. В течение всего периода своего существования головоногие моллюски обитали в воде с постоянной соленостью. Ископаемые головоногие дали исключительное множество разнообразных форм. Однако в настоящее время сохранилось ограниченное число видов: осьминоги, кальмары, каракатицы и редкие наутилоидеи. В фанерозе особенно широко распространились наутилоидеи, аммо-ниты и белемниты.

Ряд головоногих возникли в раннем кембрии. Уже в ордовике наутилоидеи обитали преимущественно на дне, в мелководных частях неритовой зоны. Первые формы наутилоидеи имели сильно сплюснутую раковину и, по-видимому, ползали по морскому дну. В течение всего ордовика фауна наутилоидеи состояла преимущественно из форм с прямой раковинной. В то же время спирально свернутые раковины составляли примерно 15% всех головоногих. Но в дальнейшем соотношения резко меняются. В девоне наряду с прямыми и слабо изогнутыми формами существовало много спирально свернутых. Далее, в позднем палеозое, наутилоидеи с прямой раковинной становится значительно меньше, возрастает же число видов со спиральной раковинной. Спиральная ракови- на, гораздо более компактная и менее громоздкая, чем прямая, оказалась более удобной для свободного движения животного. Наутилоидеи со спирально скрученной раковинной быстро эволюционируют, приспособившаяся к активному плаванию. Но плавали они относительно мало, невысоко над дном, на которое они могли опускаться из любого положения. Разнообразные и богатые формами раннепалеозойские наутилоидеи начинают постепенно вырождаться в девонский период, а с наступлением раннего карбона начинается их вымирание.

В силурийский период от спирально свернутых наутилоидеи происходят аммониты, а в девоне близкие к ним формы - гониатиты составляют уже большую группу морских организмов. Они более подвижны, чем их предки наутилоидеи. В течение девона, карбона, перми и всего мезозоя эволюционируют различные группы аммонитов. Их господство продолжалось до позднего мела и закончилось образованием гигантских форм, найденных в верхнемеловых отложениях. Так, один из верхнемеловых аммонитов в Вестфалии (ФРГ) достигал в диаметре 2,5 м. Аммониты существовали с начала девона до конца мела, и за это время сменилось около 1500 видов.

В палеогене произошло быстрое вымирание белемнитов. Причина этого еще недостаточно выяснена. Согласно наиболее распространенной точке зрения, массовое вымирание обширных групп головоногих моллюсков было связано с появлением в морях новых активных и высокоорганизованных противников. Ими могли быть костистые рыбы, обильно расплодившиеся в середине мелового периода, и морские млекопитающие - китообразные, которые заняли место морских рептилий мезозоя. В связи с появлением этих хищников исчезли не только аммониты, но и белемниты. Обе группы головоногих моллюсков, которые были подвижными в условиях мезозойских морей, оказались неуклюжими и неповоротливыми по сравнению с новыми хищниками. Поэтому в борьбе за существование уцелели самые сильные и самые проворные головоногие моллюски -

типа осьминогов и кальмаров с сильно редуцированным известковым скелетом.

Изменения в строении раковин аммонитов, которые произошли на заключительных этапах их истории, позволяют предполагать, что в то время им пришлось вести борьбу с более подвижными хищниками, способными дробить раковины. Эту войну аммониты в конце концов проиграли.

Однако массовое вымирание аммонитов в конце мезозойской эры могло быть вызвано и другими факторами. Некоторые исследователи полагают, что вытеснение аммонитов костистыми рыбами не могло быть главной причиной их вымирания, поскольку аммонитами питались многочисленные хищные морские рептилии, в том числе гигантские мезозавры, ихтиозавры, плезиозавры и морские крокодилы. Однако при этом медлительные наутилоидеи выжили, а аммониты погибли. По мнению американского ученого К. Несиса, исчезновение подавляющего большинства известковых планктонных организмов было крупнейшим событием в мезозое. В результате погибли и гетеротрофные аммониты, которые ими питались.

Таким образом, общей причиной вымирания аммонитов была конкурентная борьба с костистыми рыбами, а конкретным поводом - внезапное вырождение известкового планктона - фораминифер и кокколитофорид. Но что было причиной внезапного исчезновения известкового планктона, неизвестно.

Остальные классы моллюсков - брюхоногие и двусторчатые - дожили до современной эпохи и дали большое разнообразие жизненных форм, в том числе обитающих в пресных водах. Самым распространенным оказался класс брюхоногих моллюсков с огромным количеством и ныне существующих видов. Представители класса брюхоногих моллюсков живут в морях, в солоноватых и пресноводных бассейнах, в реках и озерах, а отдельная группа их вышла на сушу и приспособилась к новому образу жизни. Множество ископаемых брюхоногих моллюсков найдено в отложениях фанерозоя, но максимального обилия и разнообразия они достигли в кайнозое.

Иглокожие (Echinodermata). Этот тип охватывает беспозвоночных животных, имеющих радиальную пятилучевую или реже двустороннюю (у некоторых раннепалеозойских групп) симметрию мягкого тела. Они обладают внутренним известковым скелетом, построенным из пластинок, несущих иглы, откуда данный тип и получил название иглокожих. Для иглокожих характерна амбулаторно-ральная, или водно-сосудистая, система, обеспечивающая их водой, кислородом и пищей. Все иглокожие - обитатели морей с нормальной или близкой к ней соленостью. Они размножаются половым путем. Все иглокожие делятся на два подтипа - *Pelmatozoa* и *Echinozoa*.

К *Pelmatozoa* относятся все группы прикрепленных иглокожих бентоса. Они могут быть представлены и неприкрепленными формами, однако происходят все же от прикрепленных. К настоящему времени в морской фауне сохранился только один класс прикрепленных иглокожих - морские лилии. В геологическом прошлом существовало еще несколько классов иглокожих, ведущих прикрепленный образ жизни. К ним относятся морские пузыри (*Cystoidea*), текоидеи (*Thecoidea*), карпоидеи (*Carpoidea*) и морские бутоны (*Blastoidea*).

В эволюции иглокожих прикрепленные формы появились первыми. Довольно многочисленные представители иглокожих найдены в отложениях ордовика. Текоидеи встречаются от нижнего кембрия до нижнего карбона. Бластиоидеи известны от ордовика до пермского периода включительно и в своем развитии дали формы, перешедшие от прикрепленного образа жизни к свободному, бентосному. Наиболее разнообразны формы морских лилий. Возможно, они произошли от цистоидей в кембрии или даже в докембрийское время.

В ордовике открыты остатки иглокожих, которые по своему анатомическому строению не укладываются ни в один из хорошо известных и общепризнанных классов. Сидячие формы иглокожих обитали на разных глубинах морского дна - от 20 до 5300 м. Большинство форм морских лилий живет в настоящее время на глубинах 4-5 тыс. м, и лишь немногие - в мелких морях. В палеозое и мезозое морские лилии обитали преимущественно в мелководных прибрежных областях моря, некоторые переходили к свободному образу жизни. В различные эпохи возникали неприкрепленные формы. Они известны в ордовике, девоне, карбоне и в отложениях меловой системы. Однако неприкрепленные формы оставались бентосными животными. Причина развития свободных форм связана с тем, что в определенных условиях способность передвигаться дает организму существенные преимущества перед формами, живущими на одном месте, там, где животное, будучи личинкой, первоначально прикрепилось.

Подтип неприкрепленных иглокожих подразделяется на три класса: морских ежей (*Echinoidea*), морских звезд (*Asterozoa*) и голотурий (*Holothuroidea*). Свободно-ноживущие неприкрепленные иглокожие в отличие от прикрепленных составляют значительную часть современной морской фауны. Неприкрепленные формы иглокожих ведут свое начало с раннего палеозоя. В самом палеозое подвижные иглокожие дали большое количество разнообразных форм древних ежей, которые в конце палеозоя вымерли. Все свободноплавающие иглокожие являются в значительной мере хищниками, а также пожирателями трупов различных организмов.

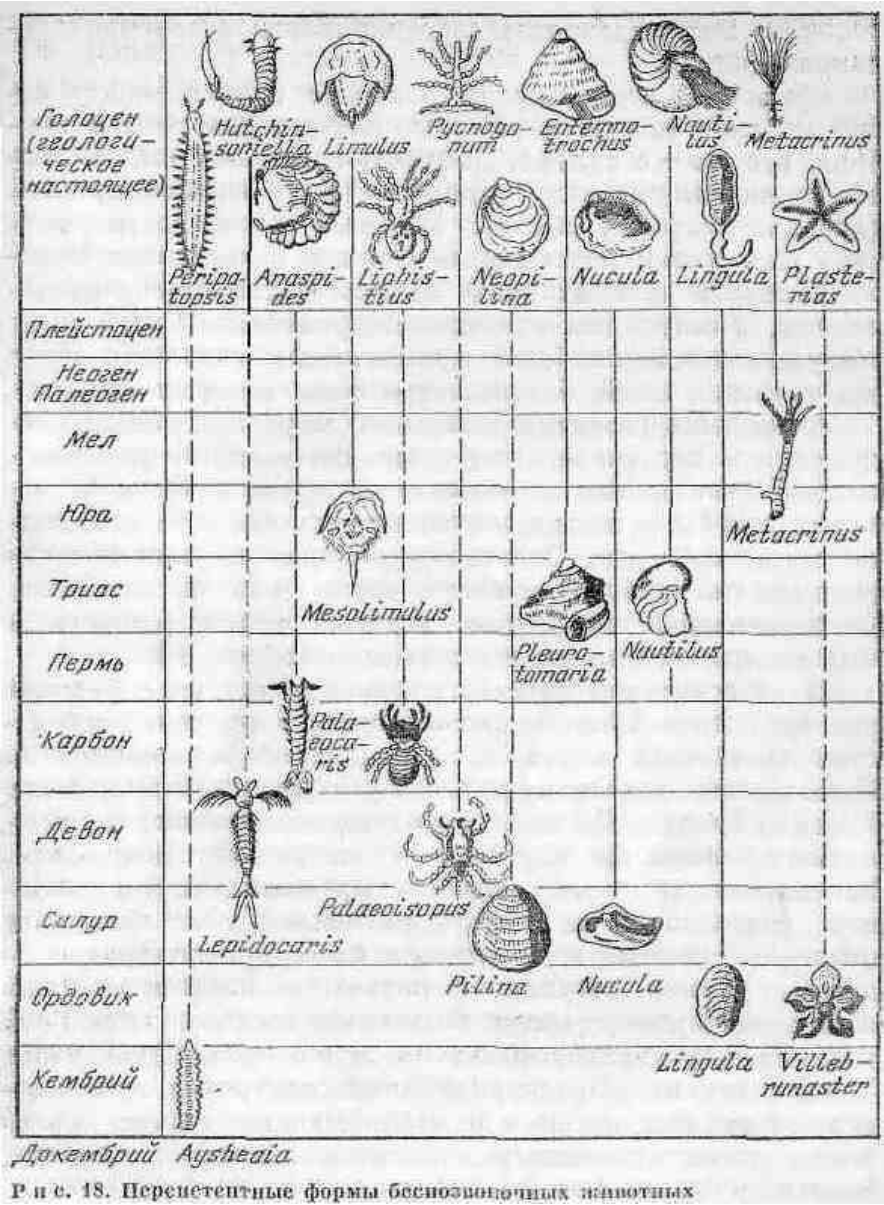


Рис. 18. Персистентные формы беспозвоночных животных

К настоящему времени установлено, что тип иглокожих относится к наиболее высокоорганизованной группе беспозвоночных животных - вторичноротых. Первоначально - они были преимущественно двусимметричными, главным образом прикрепленными животными. Впоследствии из них выделились свободноплавающие неприкрепленные формы.

Среди подвижных форм наиболее близки между собой морские звезды и офиуры. Первые известны с кем-брия, вторые - с силура. Допускают, что они выделились от раннекембрийских примитивных эдриастероидей (древних морских звезд). По всей вероятности, морские ежи имели родственные связи с последними. Однако наиболее древних ежей зоологи связывают с цисто-идеями, а остальных - с эдриастероидеями. Среди ныне живущих ежей наиболее примитивным считается отряд эластических ежей, большинство форм которых вымерло.

В процессе развития животного мира при общем прогрессивном поступательном движении имеются многочисленные ответвления определенных групп, эволюция которых как бы останавливается на десятки, а то и на сотни миллионов лет. Отдельные стороны персистентности растений и микроорганизмов были уже рассмотрены. Беспозвоночные животные, которых можно отнести к персистентным формам, представлены на рис. 18.

В качестве классического примера обычно приводят род брахиопод *Lingula*, появившийся в ордовике и просуществовавший почти весь фанерозой без изменений. Столько же прожили роды двухстворчатых моллюсков *Pileina* и *Nucula*. Из головоногих моллюсков живым ископаемым является наutilus - "жемчужный корабль". Представители этого рода - четырехжаберные с внешней, разделенной на камеры раковины. Она защищает мягкие части тела животного, а благодаря наличию воздушных камер регулирует подводное плавание. Ныне живущий наutilus обитает преимущественно в спокойной воде на глубинах от 40 до 700 м в юго-западной части Тихого океана. Предшественники наутилуса существовали от раннего палеозоя до мезозоя включительно. К консервативным животным относится мечехвост *Limulus*, близкий к скорпионам и паукам.

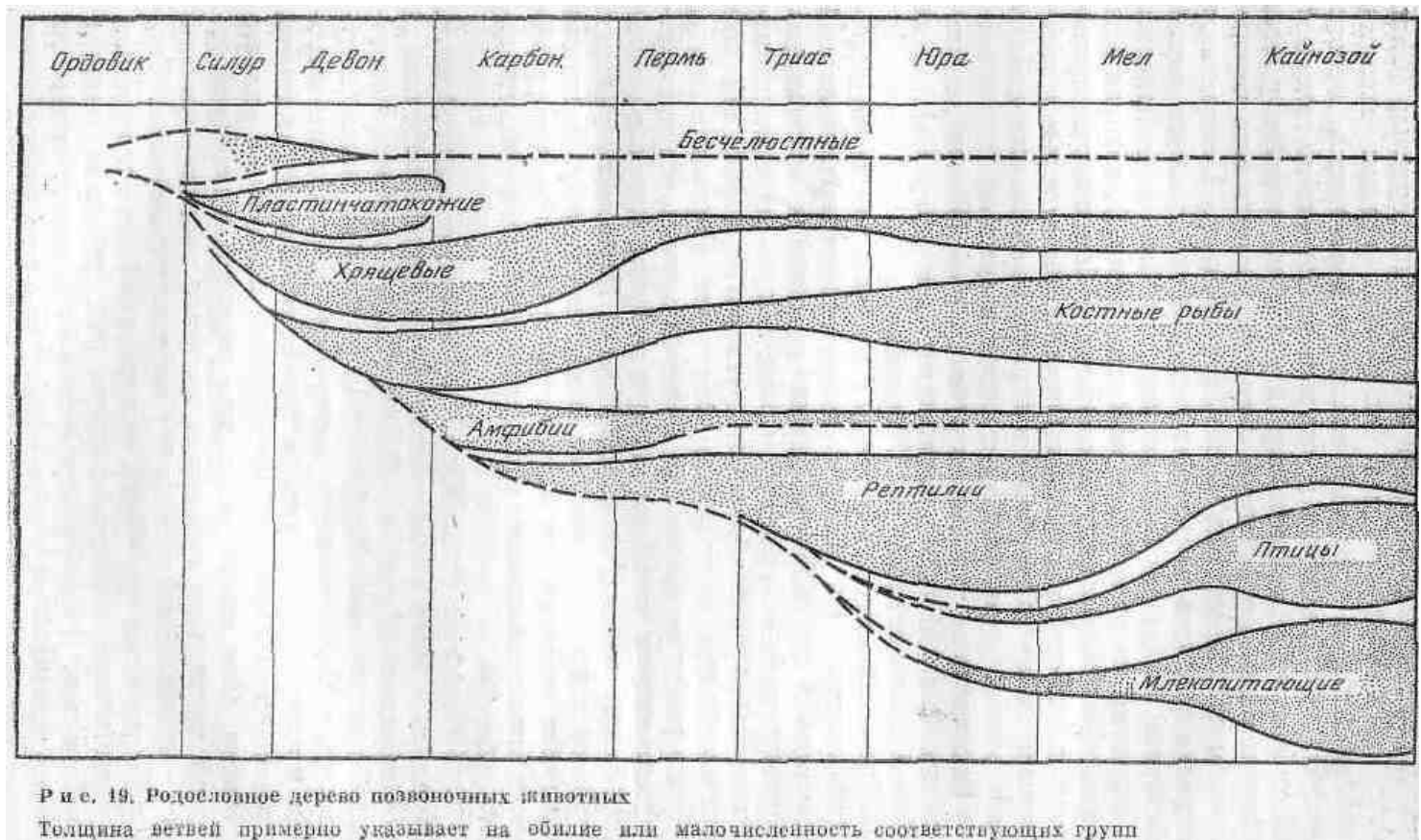
Развитие позвоночных

Название "позвоночные" (Vertebrata) было введено в науку выдающимся французским натуралистом Ж. Б. Ламарком. Позвоночные как подтип животных возникли позже всех в биосфере. Их эволюция, начиная от первых примитивных предков и кончая приматами и человеком, охватила фанерозой. Это наиболее высокоорганизованная, обширная и разнообразная группа животных из хордовых (Chor-data). У представителей этого типа осевым скелетом является хорда - упругий эластичный стержень, простирающийся от хвостовой части тела животного до головной. В эмбриональном состоянии хорда присутствует у всех позвоночных, а у взрослых животных замещается чередованием хрящевых или костных позвонков. Центральная нервная система состоит из головного и спинного мозга. Головной имеет весьма сложное строение и помещается в черепной коробке (хрящевой или костной), которая есть у всех без исключения позвоночных. У большинства позвоночных животных две пары конечностей, которые в зависимости от среды обитания и характера движения меняют свои формы (плавники, лапы, ноги и крылья).

Позвоночные подразделяются на рыб (Pisces), земноводных (Amphibia), пресмыкающихся (Reptioia), птиц (Aves) и млекопитающих (Mammalia).

Происхождение позвоночных изучено лучше, чем других животных. По данным палеонтологии, сравнительной анатомии и эмбриологии, эволюция низших позвоночных первоначально совершалась в воде и привела к возникновению самых разнообразных круглоротых и рыб, которые приспособились к условиям обитания. Вероятнее всего, первые рыбы произошли от маленьких мягкотелых хордовых организмов, имевших хорду и жабры и живших за счет фильтрации частиц из морской воды. Переломным этапом в эволюции позвоночных был выход их на сушу. Предками наземных позвоночных были кистеперые рыбы, а древнейшими представителями сухопутных животных - земноводные

(рис. 19).



Рыбы относятся к наиболее примитивным позвоночным. Из рыбообразных в самостоятельный надкласс выделяются бесчелюстные (Agnatha). Значительную их часть составляют круглоротые (Cyelosomi), у которых - челюсти отсутствуют. В современную эпоху они представлены миногами и миксинами, ведущими паразитический образ жизни. В ископаемом состоянии круглоротые известны с раннего ордовика. Они имели небольшие размеры, в передней головной части тела находился крупный плоский головной щит, состоящий из нескольких костяных пластинок. Глаза располагались по бокам, что связано было с придонным образом жизни животных, когда они добывали пищу с морского дна. В процессе развития от позднего силура до раннего девона бесчелюстные дали большое разнообразие форм и приспособились к новым условиям жизни. Отдельные их виды приобрели формы, удобные, для плавания в открытом море. Они питались путем втягивания осадков трубкообразным ртом, а также заглатывали и плавающий планктон с поверхности. Некоторые бесчелюстные рыбообразные были сходны с современными сомами, обитающими в пресноводных водоемах. Ископаемые остатки круглоротых свидетельствуют о том, что они рано приспособились к жизни в пресных водах. В раннем девоне бесчелюстные вели разнообразный образ жизни, но они должны были питаться очень мелкими организмами планктона либо тонкими осадками морского дна. Парадоксально то, что максимальное развитие примитивных круглоротых в девоне совпадает с развитием рыб с шарнирнообразными челюстями. В конце девона они вытеснили круглоротых, у которых не было костного скелета.

Собственно рыбы (Pisces) имеют скелет, костный или хрящевой. У акул и осетровых сохранилась нерасчлененная хорда. Число позвонков у разных рыб резко различно - от 16 у рыбы луны до 400 у новозеландской рыбы ремня. Большинству рыб присуща удлинённая веретенообразная форма. Череп у костистых рыб состоит из большого числа костей; головной мозг хорошо развит, особенно у двоякодышащих рыб. Размеры рыб варьируют в широких пределах - от маленького бычка, длиной 1 см, обитающего на Филиппинских островах, до гигантской китовой акулы, достигающей 15 м в длину. Рыбы подразделяются на три класса: пластинокожих (Placodermi), хрящевых (Chondrichthyes), костных (Osteichthyes).

Первый класс представлен лишь ископаемыми палеозойскими формами; второй объединяет не только большое количество палеозойских форм, но и акул и скатов, живущих в настоящее время; третий охватывает наиболее прогрессивную группу, которая выделилась еще в палеозое, но достигла большого разнообразия в современную эпоху.

Пластинокожих объединяют наиболее примитивные формы челюстных, или настоящих, рыб. Тело их было покрыто пластинками, образующими своеобразный панцирь, который имел внешнее сходство с аналогичным панцирем круглоротых щиткообразных форм. Поэтому ранее часть круглоротых и некоторых челюстных рыб объединяли в одну группу под названием "панцирные". Типичным представителем их являлся кокостеус около 50 см длиной. По общему очертанию тела это была обыкновенная рыба, но нижняя часть ее была плоской, что характерно для донных форм, и имела довольно длинный, заостренный к концу хвост.

Другой представитель пластинокожих - динихтис обладал мощным челюстным аппаратом с острыми выступами и краями, указывавшим на то, что рыба была хищником. Главное развитие пластинокожих пришлось на девонский период палеозоя. В прошлом существовало две группы плакодерм - артродиры и антиархи. Наиболее ранние артродиры были небольшими, несколько уплощенными рыбами, со слабыми челюстями. В течение девона они превратились в быстро плавающих хищников довольно крупных размеров. В ходе эволюции панцирь становился относительно короче и большая часть тела могла участвовать в движении. Совершенствовался челюстной механизм.

Антиархи были покрыты более обширным панцирем, почти по всей поверхности тела. Форма их была несколько плоской. Глаза были маленькими и находились в верхней части головного щита. Однако антиархи обладали сильными членистыми плавниками, внешне похожими на руки, приспособленные для перемещения по морскому дну. Характерной особенностью антиарх было наличие у них легких, позволяющих дышать воздухом.

Плакодермы не обнаруживают родственной связи с какой-либо группой современных рыб. Они вымерли в конце девона, уступив место более совершенным рыбам.

Хрящевые рыбы охватывают современных акул и скатов. Они имеют скелет примитивного строения, состоящий из хрящей. Наиболее ранние рыбы имели развитые наружные защитные образования, которые исчезли у более поздних форм. Хрящевые рыбы довольно древняя группа. Первые из них появились в силуре. В дальнейшем число их возрастало, а в начале карбона развились многочисленные формы. Однако в конце палеозоя количество форм резко сократилось, а уже в настоящее время хрящевые рыбы составляют незначительную долю всей фауны рыб природных водоемов. Скаты оказались более современной ветвью акул.

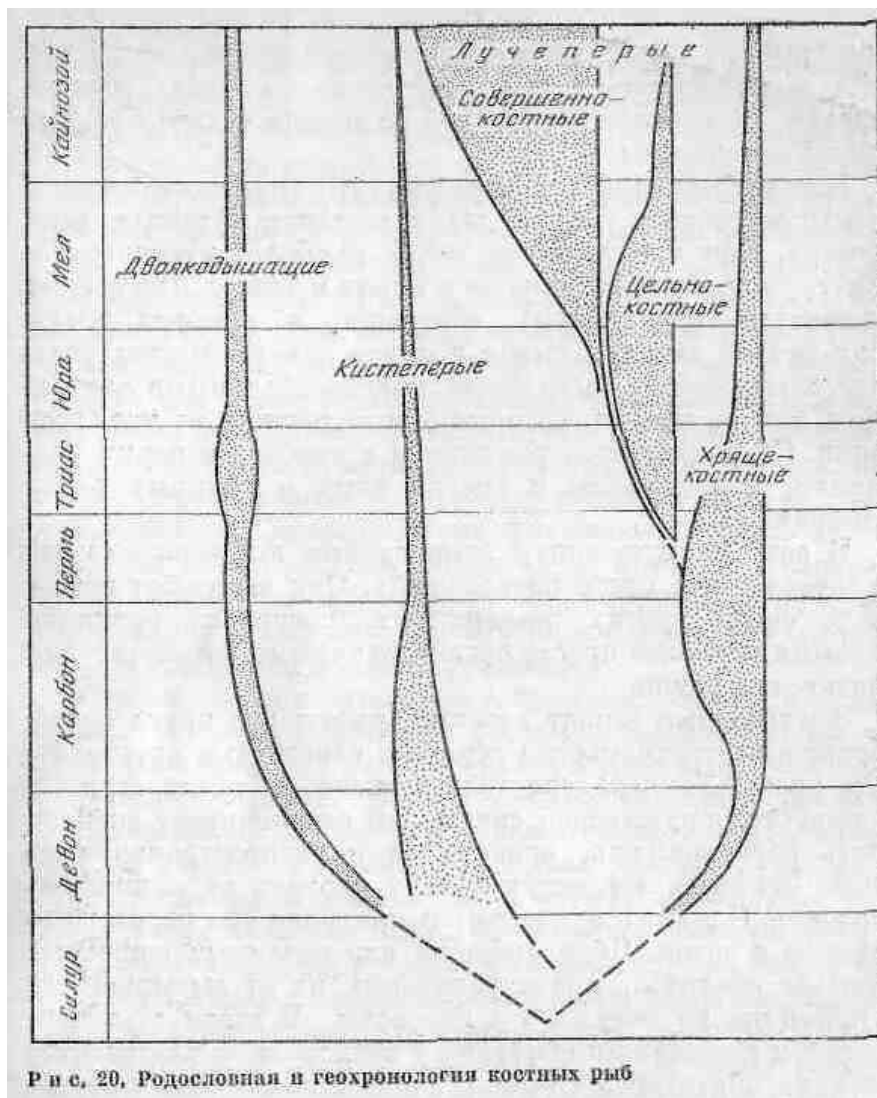


Рис. 20. Родословная и геохронология костных рыб

Костные рыбы зародились в раннем девоне и первоначально обитали в пресноводных водоемах. В конце палеозоя они стали господствующей группой пресноводных позвоночных и заселили моря. Родословная и геохронология костных рыб представлены на рис. 20. В фауне современных водоемов большинство рыб относятся к классу костных. Они подразделяются на три подкласса: лучеперые с лучеобразными плавниками, двоякодышащие, кистеперые. Все они обнаружены в ископаемом состоянии в нижнем девоне и, возможно, происходят от акантодиев. У большинства современных костистых рыб имеется плавательный пузырь, регулирующий глубину плавания. Двоякодышащие рыбы обитали в пресных водах и, судя по строению тела, плавали всегда медленно. Они приспособились к жизни в периодически высыхающих реках и мелководных озерах. Легкие помогали им выжить в сухой сезон и в дальнейшем набраться сил в период дождей, когда в воде можно было дышать жабрами. В связи с этим двоякодышащие выжили в условиях, не переносимых другими рыбами. В настоящую эпоху существует лишь три вида двоякодышащих рыб, обитающих в реках Южной Африки, Австралии и Южной Америки, - своеобразные живые ископаемые.

Кистеперые рыбы (Crossopterygii) приспособились к активному образу жизни, давно заселили крупные реки и озера. Они представляют собой наиболее многочисленную группу, преобладающую в морях и теперь. Некоторые кистеперые (рипидисты), обитавшие в пресных водах, дали начало земноводным в позднем девоне. В этих условиях земноводные были более приспособленными хищниками, чем их предки, которых они вытеснили из мест обитания. Сохранившиеся рипидисты в карбоне и перми увеличили свои размеры и смогли жить в крупных реках и озерах.

В современную эпоху земноводные амфибии - самый малочисленный класс позвоночных. Они занимают особое место среди других позвоночных, поскольку являются первыми наиболее просто организованными четвероногими обитателями суши.

Земноводные дышат легкими, имеют два круга кровообращения, трехкамерное сердце и венозную и артериальную кровь. Температура тела зависит от температуры и влажности окружающей среды, что ограничивает возможность передвижения, ориентации и распространения на суше. Земноводные могут далеко уходить от природных водоемов. Однако в процессе размножения они неразрывно связаны с водой. Яйца амфибий как наземных животных лишены оболочек, предохраняющих их от высыхания, и в принципе не могут жить вне воды. В связи с водным способом рождения и обитания у земноводных развивается личинка, обитающая в воде. В дальнейшем личинка эволюционирует через ряд переходных форм (рыбоподобные, головастики и др.) и превращается в животное, обитающее на суше. В настоящее время земноводные представлены тремя отрядами: хвостатых, безногих и бесхвостых.

Выходя в процессе эволюции на сушу, животные радикально изменяли конструкцию своего тела и главнейших органов. Морская вода, давшая жизнь позвоночным, содержала большое количество разнообразных растворенных питательных веществ, которые в условиях атмосферного воздуха отсутствуют. У первых живых организмов, выбравшихся на сушу, возникли проблемы, связанные с поисками пищи. Поскольку на многих географических широтах воздух был недостаточно насыщен влагой, жизнь в условиях суши и атмосферного воздуха таила много опасностей, особенно для размножения, поскольку репродуктивные клетки весьма чувствительны к высыханию.

Соотношение свободного кислорода и углекислого газа в атмосферном воздухе отличается от водно-морского соотношения. Поэтому для сухопутных животных необходимы были механизмы, регулирующие процесс дыхания. Преломление световых лучей в воздушной среде ниже, чем в водной, что, в свою очередь, повлияло на строение глаз. Разная скорость распространения звука в воде и воздухе вызвала изменения слухового аппарата у животных. Наконец, резко изменились гравитационные условия существования организмов. В воздухе организмы весят больше, чем в воде. Следовательно, выход организмов из воды на сушу потребовал совершенствования физической опоры, что не могло не отразиться на развитии и прочности скелета. Таким образом, переход позвоночных животных на сушу и завоевание ее связаны с целым рядом изменений их тела в целях адаптации к новым условиям.

Первые представители земноводных имели крепкие кости, и их тела умеренных размеров были покрыты чешуей. По-видимому, их кожа практически не участвовала в процессе дыхания. Вместо нее для быстрого дыхания использовались легкие, изменившие объем с увеличением грудной клетки. У земноводных был длинный сильный хвост, увенчанный плавником, и четыре конечности, расположенные по бокам тела. По всей вероятности, тело и хвост были мощными средствами плавания, при этом в малой степени

непосредственно участвовали сами конечности. Древние земноводные проводили много времени в воде. В водной среде первые амфибии с их острыми зубами, глазами, расположенными в верхней части головы, и обтекаемой формой тела были похожи на небольших кроко-дилов.

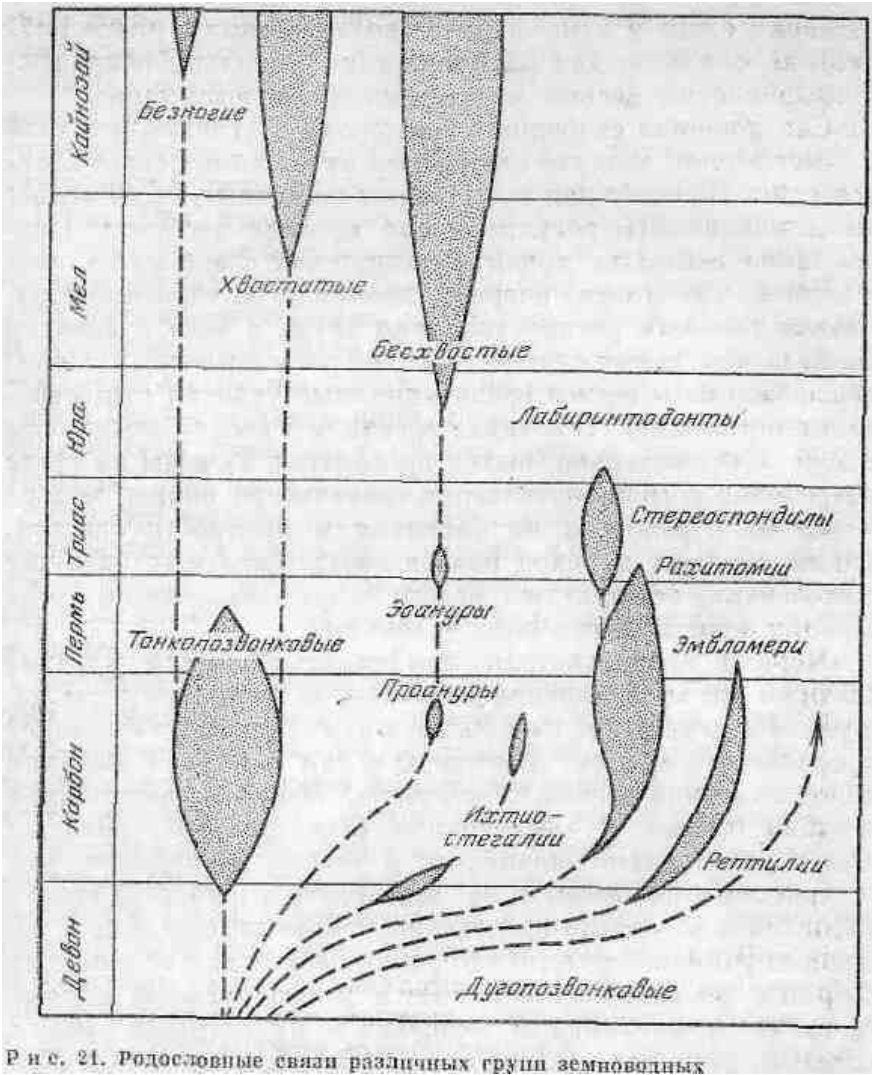


Рис. 21. Родословные связи различных групп земноводных

По палеонтологическим данным, земноводные появились в раннем девоне. Родословная земноводных в масштабах геологического времени представлена на рис. 21. Предками земноводных были кистеперые рыбы, обладавшие легкими и парными -плавниками, из которых могли возникнуть пятипалые конечности. Такое заключение подтверждается поразительным сходством покровных костей черепа кистеперых с костями черепа палеозойских земноводных. У земноводных животных и кистеперых рыб были как верхние, так и нижние ребра, которые отсутствовали у двоякодышащих рыб, ведущих в общем земноводный образ жизни. Двоякодышащие рыбы, обладавшие легкими, по целому ряду признаков отличались от земноводных, а значит, не могли быть их непосредственными предками.

В девонский период происходило поднятие земной коры, обширные участки суши покрылись растительностью. Наибольшего разнообразия и численности земноводные достигли в каменноугольный и пермский периоды, когда, на обширных территориях господствовал влажный и теплый климат.

Ископаемые палеозойские земноводные относятся преимущественно к группе стегоцефалов, или панцироголовых.

Важной особенностью этих животных был сильный панцирь из кожных костей, покрывавший черепную коробку. В целом стегоцефалы отличались от современных земноводных рядом примитивных признаков, унаследованных от кистеперых рыб. К таким признакам, в частности, относится костный панцирь. Таз еще не соединялся с позвоночником, а плечевой пояс сохранял связь с черепом. Передние конечности были снабжены пятью пальцами.

Венцом развития древних земноводных был конец палеозойской эры, когда стегоцефалы достигали большой численности и разнообразия и еще не имели врагов среди более высокоорганизованных наземных позвоночных. Данные палеонтологии и анатомии земноводных позволили их подразделить на два подкласса - дугопозвонковых (Apseudospondyli) и тонкопозвонковых (Lepospondyli).

Первый подкласс охватывает надотряд лабиринтодон-тов и надотряд прыгающих (Salicnlia), включающий многообразных современных амфибий.

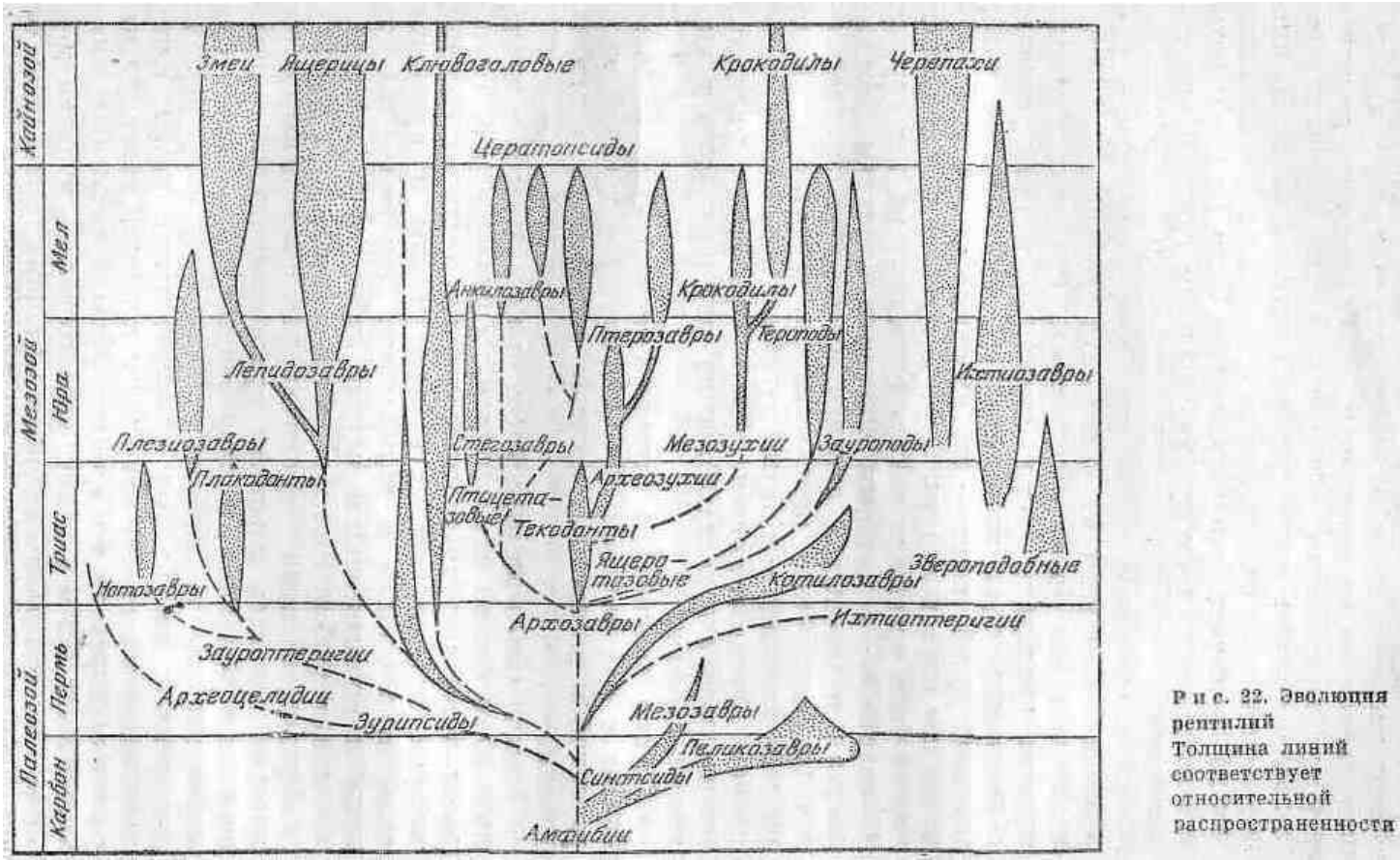
Лабиринтодонты были найдены исключительно в ископаемом состоянии и представляли собой стегоцефалов, у которых имелся "лабиринтодонтный" тип зубов, полученный в наследство от их предков - кистеперых рыб. При поперечном срезе зубов обнаруживается необычно сложная картина разветвления эмалевых петель, в целом похожая на лабиринт. К группе лабиринтодонтов относились почти все крупные земноводные каменноугольного, пермского и триасового периодов. За время своего существования земноводные испытали существенные изменения. Более ранние формы имели умеренные размеры и рыбообразную форму тела; поздние укрупнились, тело их стало короче и толще и заканчивалось коротким толстым хвостом. Наиболее крупными представителями этих животных были мастодонзавры, обитавшие в триасе. Череп их достигал 1 м в длину. Внешним своим видом они походили на гигантских лягушек, .питались главным образом рыбой. Мастодонзавры были преимущественно водными животными, редко покидавшими водную стихию.

Второй подкласс, тонкопозвоночных, охватывает три отряда стегоцефалов каменноугольного периода. Он был представлен мелкими, хорошо приспособленными к жизни в воде земноводными. Многие из них вторично утратили конечности и превратились в змеиноподобные формы. Предполагается, что из подкласса тонкопозвоночных амфибий в дальнейшем возникли современные отряды хвостатых и безногих земноводных.

В триасовый период одновременно существовали крупные земдюведы и нримжгавые рептилии. Между папм преисходила борьба за существование, которая закончилась победой рептилий, завоевавших в мезозое все области обитания поверхности планеты: воздух, сушу и водную стихию.

Пресмыкающиеся, или рептилии, в своей биологической организации имели явное преимущество перед земноводными. Они значительно лучше приспособлены к обитанию на

суше. По существу, в истории развития позвоночных это были первые животные, которые размножались на суше яйцами, дышали только легкими, их -кожу покрывали чешуйки или щитки. Развитие рептилий, даже обитающих в воде, не связано с водной средой. Волокнистая скорлупо-ватая оболочка яиц рептилий значительно препятствует их высыханию. По сравнению с амфибиями у рептилий более совершенная система кровообращения. Произошло дальнейшее разделение артериального и венозного токов крови. У большинства пресмыкающихся сердце трехка-нервное, -однако желудочек разделен неполной перегородкой на две етоловины: правую - веиюзную и левую- артериальную. Несмотря-на прогрессивное развитие покровов, органов крветобращения и дыхания, пресмыкающиеся не Обеспечили себе теплокровность организма в целом, и температура их тела, подобно земноводным, зависит от температуры окружающей среды. Живущие в современную эпоху пресмыкающиеся подразделяются на четыре отряда: чешуйчатые, черепахи, крокодилы и клювоголовые. Пища пресмыкающихся довольно разнообразна, среди них встречаются насекомоядые, рыбоядные, хищники, раститель-поядные. В истории животного мира пресмыкающиеся прошли длительный путь развития. Первые находки реи-тилий известны в каменноугольных отложениях. Они относятся к отряду котилозавров из подкласса анапсид. Появившись в карбоне, они значительно развились в пермский период. Котилозавры были массивными животными и передвигались на толстых пятипалых конечностях. Размеры их колебались от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров.



Родословные связи различных групп рептилий представлены на рис. 22. Наиболее примитивной формой из всех истаиаемых рептилий была сеймурия (Seymouria) - небольшое животное (от 0,5 м длиной), сохранившее ряд признаков земноводных. Практически у него отсутствовала шея, зубы имели примитивное строение, а кости черепа в деталях были сходны с черепной крышкой стегоцефалов. Детальное изучение сеймуроподобных рептилий и их остатков, найденных на территория СССР, позволило выделить группу батрехозавров, которые занимали промежуточное положение между земноводными и котилозаврами. По имеющимся данным палеонтологии и сравнительной анатомии можно заключить, что котилозавры были группой, которая дала начало всем другим основным группам пресмыкающихся.

От котилозавров произошли более подвижные формы рептилий. При этом их конечности удлинлялись, скелет становился все более облегченным. Редукция черепного панциря проходила двумя основными путями: сначала образовалась одна височная яма, ограниченная снизу скуловой дугой, затем - две височные ямы: и соответственно две скуловые дуги. С учетом указанных признаков черепа всех пресмыкающихся разделяют па три группы: 1) анапсиды - с цельным черепным пашщрем (котилозавры и черепахи) ; 2) синапсиды - с одной скуловой дугой (звероподобные, плезиозавры и, вероятно, ихтиозавры) ; 3) диапсиды - с двумя дугами, к ним относятся все прочие пресмыкающиеся. Последняя группа наиболее многочисленна и распадается на ряд подклассов и множество отрядов.

Группа анапсид по строению черепа была особенно близка к стегоцефалам. Из этой наиболее древней ветви рептилий к настоящему времени сохранились только черепахи.

Группа синапсид отделилась от котилозавров и привела к образованию ихтиоптеригий и синатозавров. Типичными представителями ихтиоптеригий были ихтиозавры, которые возвратились в водную стихию и приобрели сходство с рыбами и дельфинами. Они имели гладкую кожу и многочисленные острые зубы, приспособленные к питанию рыбой. Размеры их варьировали от 1 до 15 м.

Представителями синаптозавров были плезиозавры, которые являлись морскими пресмыкающимися, морфологически близкими к современным ластоногим. Они имели широкое утолщенное туловище, две пары мощных конечностей, измененных в плавательные ласты, длинную шею с маленькой головкой и короткий хвост. Размеры их варьировали в широких пределах: некоторые виды имели лишь 0,5 м в длину, но встречались и гиганты - 15 м. Они обладали сильными мышцами, приводившими в движение ласты, которые служили лишь для гребли и не могли поддерживать корпус животного вне воды. Причины перехода от наземных форм синапсид к водным еще недостаточно выяснены.

Группа диапсид, объединяющая наиболее многочисленных и разнообразных рептилий, подразделяется на два подкласса - лепидозавров и архозавров. Еще в ранней перми выделились лепидозавры, известные как наиболее примитивные формы. От них произошли клювого-ловые, чешуйчатые - ящерицы. Из клювоголовых в настоящее время известна гаттерия. В начале мелового периода от чешуйчатых отделились мезозавры - морские пресмыкающиеся, имевшие длинное (15 м) змеевидное тело и две пары конечностей в виде ластов. В конце мелового периода от ящериц отделилась новая ветвь - змеи.

От примитивного отряда еозухий, по всей вероятности, возникла большая ветвь - архозавров, распавшаяся впоследствии на три основные ветви: крокодилов, динозавров и крылатых ящеров.

Динозавры представляли собой наиболее многочисленную и разнообразную группу пресмыкающихся. Их размеры сильно варьировали - от мелких животных, величиной с кошку и меньше, до настоящих гигантов, достигавших почти 30 м в длину и весивших 40-50 т. На суше не было ничего подобного динозаврам. Масса наиболее крупных современных млекопитающих - слонов составляет лишь 1/5 массы крупного динозавра, а наиболее близкие родственники динозавров - крокодилы весят всего лишь около 1 т. Динозавры были легкими и массивными, подвижными и неуклюжими, хищными и травоядными, лишенными чешуи и покрытыми костным панцирем с различными выростами. Они разделялись главным образом по структуре таза на две большие группы - ящеротазовых и птицетазовых. У них были разные способы передвижения. В обеих группах динозавров встречались двуногие и четвероногие. Появились они в среднем триасе.

Ящеротазовые динозавры были представлены теропо-дами и завроподами. Тероподы относились в основном к плотоядным хищным животным, завроподы - преимущественно к травоядным. Ранние тероподы приспособились к быстрому бегу по ровной открытой местности. Некоторые тероподы по внешнему виду напоминали страусов. Они имели длинную шею и небольшую голову со слабыми челюстями, быстро бегали на длинных ногах и были всеядными. Наряду с быстробегающими мелкими теро-подами существовали и крупные животные, обладавшие огромной силой. Они были двуногими, опирались на мощные задние конечности и обладали малыми передними. К ним относились тираннозавр, цератозавр, алло-завр. Тираннозавр весил больше, чем самый крупный слон, достигал 10 м в длину и 6 м в высоту. Тираннозав-ры имели мощный череп с острыми зубами. Передние конечности были сильно уменьшенными и служили лишь для захвата пищи. Животные прыгали на задних конечностях, опираясь на хвост. Огромные тероподы, но всей вероятности, питались животными из группы яще-ротазовых и птицетазовых.

В юрский и меловой периоды развивались завропо-ды. Это были самые крупные животные на Земле. Они обладали массивными скелетами, но у большинства форм задние конечности были длиннее и сильнее, чем передние. Это было связано с тем, что задние конечности должны были удерживать массивный таз, большую часть тяжелого позвоночника и длинный хвост. Передние же конечности были опорой только грудной клетке, сравнительно легкой шее и голове.

К крупным представителям ящеротазовых динозавров относились бронтозавр, диплодок, брахиозавр. Бронтозавр достигал в длину свыше 20 м, вес его приближался к 30 т. Диплодок был гораздо легче, не превосходил бронтозавра длиной (26 м). Неуклюжий брахиозавр был плотнее, его масса составляла около 50 т. Исходя из строения тела и массы этих динозавров, можно допустить, что все они, подобно современным бегемотам, большую часть времени проводили в воде. Они обладали слабыми зубами, пригодными для поедания лишь мягкой водной растительности, а у диплодока ноздри и глаза были сдвинуты вверх, что позволяло ему видеть и слышать, выставив из воды только часть головы.

Птицетазовые динозавры имели пояс задних конечностей, похожий на птичий. Они обладали средними размерами и разнообразными формами. Большинство из них передвигалось на четырех ногах. Животные были расти-тельноядными, что отразилось на строении их зубов. имели, хорошо развитый панцирь, иногда покрытый разного рода наростами в виде рогов, шипов и т. д. Главное развитие птицетазовых динозавров приходилось на юрский и меловой периоды. Типичными представителями их были игуанодонты, стегозавры и трицератопсы.

Игуанодонты передвигались на задних ногах и достигали в высоту 5-9 м. Они были лишены панциря, первый палец передних конечностей представлял собой косою шип, могущий служить хорошим средством защиты от хищников. У стегозавров была крошечная голова, на спине располагался двойной ряд треугольных пластин, на хвосте несколько острых шипов. Длина стегозавров составляла 5-6 м.

В позднем мелу появились трицератопсы (церапси-ды) - динозавры с роговоподобными выростами на черепе, служившими средством защиты от хищников. Трицератопс был похож на носорога. Большой рог размещался в конце морды, на носу, и пара рогов - над глазами. По размерам трицератопсы превосходили наи более крупных носорогов, известных в настоящее время.

Птерозавры были первыми летающими позвоночными животными. Их передние конечности представляли собой настоящие крылья. К этой группе относится ика-розавр, у которого ребра выдавались далеко в сторону. При полном выпрямлении ребер покрывающая их кожа легко могла превращаться в крыло. Летающие ящеры были не больше современной белки. По всей вероятности, они были не менее разнообразными, чем более крупные летающие формы, появившиеся в юрский и меловой периоды. Полагают, что икарозавры были лучше приспособлены к управлению несущими поверхностями и при этом у них сохранились развитые конечности, позволявшие хорошо ходить по земле, лазить и ощупывать различные предметы.

Настоящие птерозавры, или птеродактили, имели ряд общих черт с птицами: скрещенные грудные позвонки, большую грудину с килем, сложный крестец, полые кости, лишенную швов черепную коробку, большие глаза. Питались они преимущественно рыбой и жили в прибрежных скалах. У всех птерозавров тело было легким, с полыми костями, голова удлинненная и челюсти иногда со множеством зубов. Птерозавры были разными по величине - от размера воробья до гигантов, размах крыльев которых достигал 7 м. Птерозавры были представлены разнообразными формами. Среди них примитивная группа рамфоринхов, имевших длинный хвост для регулирования полета, и более высокоорганизованная группа собственно птеродактилей с зачаточным хвостом. Гигантские летающие ящеры - птеранодоны были самыми крупными летающими животными на Земле. При размахе крыльев до 7 м птеранодон весил 16 кг. Большая площадь крыла и легкая конструкция тела указывают, что птеранодоны преимущественно планировали и могли летать, взмахивая крыльями лишь в крайне необходимых случаях.

Из пермских котилозавров выделилась особая группа синапсид с развитыми челюстями, мощной мускулатурой и прогрессивной дифференциацией зубной системы - раз-нозубостью. Это сближало их с высшим классом позвоночных животных - млекопитающими.

В конце мелового периода произошло массовое вымирание мезозойских рептилий. Для объяснения этого события были предложены различные гипотезы, в том числе указывались космические факторы. Пожалуй, здесь нет необходимости заниматься критическим обзором всех этих представлений. Однако на одной вероятной причине следует остановиться. Большинство пресмыкающихся в течение всей мезозойской эры приобрели относительно высокую специализацию в разных средах обитания, которые были в общем довольно стабильными. В конце мезозоя орогенные процессы значительно усилились (эпоха лара-мийского орогенеза), что отрицательно сказалось на условиях обитания рептилий. Дополнительно большую роль сыграла борьба за существование с другими, более высокоорганизованными животными - птицами и млекопитающими. Благодаря теплокровности и высокоразвитому мозгу они оказались лучше приспособленными к новым условиям и вытеснили менее развитых рептилий. В то же время следует отметить, что проблема массового вымирания мезозойских рептилий еще далеко не решена.

Птицы представляют собой класс позвоночных более высокой ступени организации, чем рептилии. Поверхность их тела покрыта перьями, а передние конечности превращены в крылья. В организме птиц происходит интенсивный обмен веществ при постоянной и высокой температуре тела. Сердце у птиц четырехкамерное и артериальная кровь отделена от венозной. Хорошо развит головной мозг и органы чувств, особенно органы зрения и слуха. Птицы занимают первое место среди наземных позвоночных по скорости полета и способности преодолевать огромные пространства. Размножение птиц как разнополых животных осуществляется с помощью яиц. Однако по сравнению с пресмыкающимися птицы откладывают меньше яиц. Сложность биологических явлений, связанных с размножением, и в особенности сложность заботы о потомстве резко отличают птиц от рептилий,

Много анатомических данных указывает на сходства птиц и рептилий. По образному выражению Томаса Гекс-ли, птицы являются "взлетевшими рептилиями". Это заключение хорошо подтверждается переходной ископаемой формой, найденной в зеленгофенских глинистых слас-цах верхней юры в Средней Европе. Эта форма была названа археоптериксом. Первая находка археоптерикса сделана в 1859 г. и была интерпретирована в качества представителя птерозавров. Следующая, более удачная находка была сделана в 1861 г. Животное имело перья, и его уверенно можно было отнести к первичнокрылым. Археоптерикс был птицей по характеру оперения. По некоторым другим признакам он представлял собой переходную форму от рептилий к птицам. По всей вероятности, археоптерикс произошел от мелких динозавров группы теропод. Не исключено, что они были теплокровными. Развитие перьев служило тепловой изоляцией для всего тела. Археоптерикс еще жил на земле, но уже был способен с помощью крыльев подпрыгнуть вверх за добычей. Жизнь на деревьях явилась одним из важных условий в эволюции птиц.

Остатки птиц в виде костей и скелета сохраняются в геологических условиях исключительно плохо. Поэтому в эволюции птиц остается большой пробел, охватывающий 50 млн лет после археоптерикса. Сохранившиеся ископаемые остатки некоторых морских птиц встречаются в отложениях верхнего мела. Птицы стали разнообразнее лишь после мелового периода, когда динозавры вымерли и птицам была предоставлена широкая возможность для длительного развития. Некоторое время первичные птицы и птеродактили существовали совместно, находясь в конкурентной борьбе друг с другом. Ловкие и теплокровные птицы стали сильными врагами млекопитающих в войне за господство на суше.

В верхнемеловых отложениях Северной Америки были найдены остатки двух родов птиц - ихтиорниоа и геспе-рорниса. Ихтиорнис имел позвонки, близкие к таковым рептилий и рыб. Эти птицы были величиной с голубя, челюсти их снабжены еще острыми зубами, крылья построены так же, как у современных птиц. Гесперорнис представлял собой форму, приспособленную к водному образу жизни, достигал в длину 1,5 м. Гесперорнис был водной птицей, его длинные челюсти имели загнутые назад зубы, приспособленные для захвата небольших рыб. Остатки гесперорниса были найдены в тех же слоях, что и кости гигантского птеранодона, который был современником этой своеобразной бескрылой птицы.

В начале палеогена птицы стали в общем довольно разнообразными, появились нелетающие, бегающие формы. К ним относится диатрима - гигантская нелетающая птица, выше 2 м ростом, с огромным острым клювом и мощными когтистыми лапами. Южные материка населяли в значительном количестве крупные нелетающие птицы. В неогене в Южной Америке жила фороракос - огромная нелетающая плотоядная птица, до 2 м ростом. Голова ее по размерам была соизмерима с головой современной лошади. Моа из

Новой Зеландии представлял собой гигантского страуса, до 5 м высотой. Эпиорнис (Aepiornis - птица-слон) - огромная нелетающая птица - еще недавно населял Мадагаскар.

Пингвины довольно рано приспособились к водной среде и стали хорошими пловцами, приобрели обтекаемую форму, успешно маскируются под водой и защищены от холода перьями и жиром. Они населяют небольшие океанические острова и Антарктику, где отсутствуют сухопутные хищники, которые могли бы нападать на пингвинов. Кайнозойские ископаемые остатки указывают, что пингвины достигали 2 м высоты.

В современную эпоху птицы распространились по всей поверхности планеты, обитая в разных условиях, и на неблагоприятные изменения этих условий реагируют путем кочевков и перелетов.

Завершил этап развития позвоночных животных класс млекопитающих. За сравнительно короткий отрезок времени они достигли высокой ступени развития. Это выразилось в преобразовании рогового покрова тела млекопитающих в волосаной, защищавший организм от потери тепла; в совершенствовании черепа; в развитии органов дыхания, кровообращения, головного мозга и особенно коры больших полушарий; в живорождении и вскармливании детенышей молоком.

Предками млекопитающих, по всей вероятности, были звероподобные пресмыкающиеся (Theriodontia), появившиеся в пермский период. В течение мезозойской эры млекопитающие были всеядными или преимущественно насекомоядными, преобладали мелкие формы. Подлинный расцвет этих животных наступил в кайнозойскую эру: они стали крупнее и разнообразнее в морфологическом отношении. В течение всей эволюции животных можно проследить одну очень важную их особенность, связанную с развитием головного мозга. Еще в 1851 г. видный американский геолог, минералог и биолог Д. Дана (1813-1895) указал, что за геологическое время непрерывно изменялась и развивалась нервная система животных, и особенно головной мозг. Происходил процесс це-фализации позвоночных, который отчетливо проявлялся при сравнении различных таксономических групп.

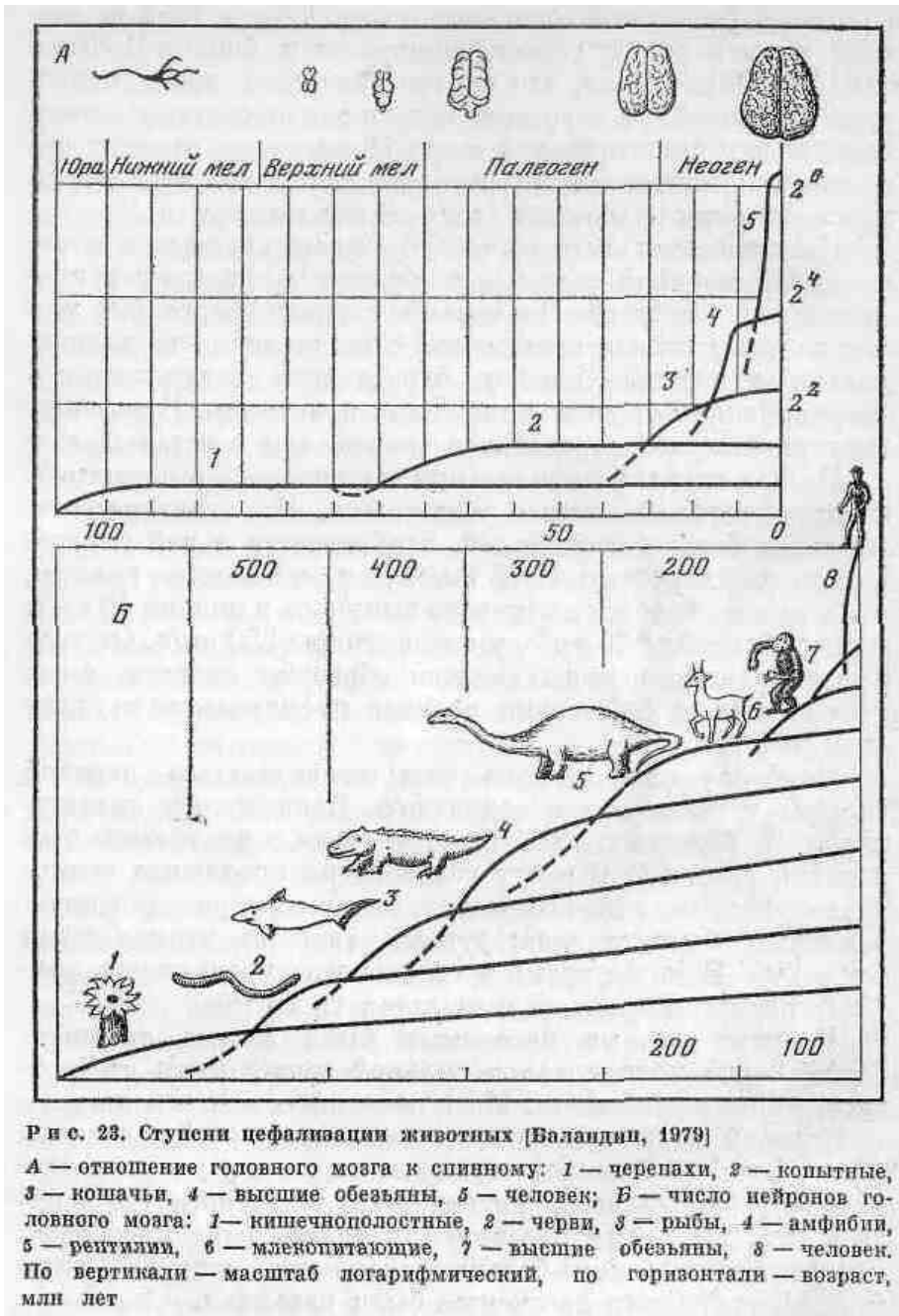
Известно, что первоначально живые существа вовсе не имели нервной системы и процесс цефализации проходил ряд ступеней. На первой ступени, более 500 млн лет назад, у живых организмов образовались специализированные нервные клетки, передающие раздражения и регулирующие- процессы движения и питания. В нервных клетках импульс передавался скорее, чем в остальных.

Вторая ступень цефализации заключалась в перестройке сети нервных клеток в нейроны. Эта система становилась более совершенной, возбуждение в ней передавалось со скоростью 4-15 см/с. Для сравнения укажем, что скорость передачи нервного импульса у пиявки 40 см/с, у ракообразных 120 см/с, у сколопендры 250 см/с. Отдельные скопления нервных клеток образуют ганглии, которые начинают собственно процесс цефализации в узком смысле слова.

Наиболее рано начала совершенствоваться нервная система у головоногих моллюсков. Появление у них щупалец и развитых глаз было связано с централизацией нервной системы. В мозгу головоногих произошла специализация отдельных его частей, которые управляли определенным органом тела: руками, глазами, чернильными железами. В то же время у головоногих увеличилась скорость передачи нервных импульсов до 25 м/с.

Нервная система насекомых была весьма специфической - она находилась в сильной зависимости от соответствующих сообществ. Мозг насекомых состоял из двух полушарий, каждое из которых заведовало своей половиной тела. Хитиновый покров ограничивал размеры тела, а когда оно увеличивалось, подвижность животного уменьшалась. В то же время пассивное трахейное дыхание не обеспечивало кислородом большое скопление клеток. В силу этих обстоятельств насекомые были невелики.

Наиболее четко цефализация проявилась у позвоночных животных. Ступени цефализации животных по данным Р. К. Баландина [1979] представлены на рис. 23. Значительно развилась цефализация у рептилий. Нервная система разделилась на головной и спинной мозг.



Скорость передачи нервных импульсов зависела от температуры тела: при повышении ее скорость увеличивалась. Как считают палеонтологи, головной мозг гигантских ящеров был не больше, чем у котенка, а спинной мозг справлялся с управлением тела,

Наиболее высокая ступень цефализации имеет место у теплокровных млекопитающих. Нервная система действует у них при постоянной температуре +31...+40° С. Нервные клетки приобрели специальную оболочку, что ускорило прохождение нервного импульса. Однако самым важным событием было увеличение объема головного мозга. В ряду млекопитающих от древних до современных возрастает абсолютный и относительный объем головного мозга, количество нейронов, площадь всех отделов мозга. У теплокровных млекопитающих качественно изменилась вся нервная система и головной мозг, что дало им большое преимущество в борьбе за существование с другими классами позвоночных животных.

Таким образом, рост цефализации в ходе геологической истории животных является несомненным фактом и может быть принят в качестве правила, которое В. И. Вернадский назвал принципом Дана. "В хронологическом выражении геологических периодов,- писал В. И. Вернадский еще в 1902 г.,- мы непрерывно можем проследить это явление от мозга моллюсков, ракообразных и рыб до мозга человека. Нет ни одного случая, чтобы появлялся перерыв и существовало время, когда добытые этим процессом сложность и сила центральной нервной системы были потеряны и появлялся геологический период, геологическая система с меньшим, чем в предыдущем периоде, совершенством центральной нервной системы".

Смена поколений целого ряда групп животных шла более быстрыми темпами ближе к нашей эпохе и была замедленной в эпохи более отдаленные. Эта закономерность ускорения эволюции была замечена уже давно и рассматривалась как проявление определенных свойств живого вещества в биосфере нашей планеты.

Ускорение темпов развития органического мира от древних времен к современной эпохе было отмечено также одним из основателей эволюционной палеонтологии - В. О. Ковалевским. В письме к брату от 27 декабря 1871 г. он писал: "Интересен факт ускорения хода жизни, так сказать; от лаурентийской до силлуритской прошло, конечно, больше времени, чем от силлуритской до настоящей эпохи; каждая следующая большая эпоха Земли короче предыдущей, и в это короткое время успевало родиться и вымереть больше разнообразных форм, чем в предыдущую эпоху; начиная от третичной эпохи жизнь мчится на всех парах: с эпохи большие типы, целые семейства появляются и вымирают и развиваются новые... времени, очевидно, прошло сравнительно немного, а перемена большая: наконец явился человек, совсем овладел миром и дело пошло быстрее" (цит. по: [Давиташвили, с. 413]).

Основываясь на материале работ Э. Геккеля, опубликованных в 1874-1875 гг., Ф. Энгельс отмечал как естественноисторическую закономерность ускорение темпов развития органического мира в течение геологического времени. "По отношению ко всей истории развития организмов надо принять закон ускорения пропорционально квадрату расстояния во времени от исходного пункта",- писал Ф. Энгельс. (Диалектика природы//Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 20. С. 620.)

Наряду с прогрессирующими в своем развитии главными типами животного мира среди позвоночных животных также встречались представители консервативных групп, мало

изменившиеся в ходе геологической истории. Однако случаи персистентности организмов среди позвоночных значительно более ограничены, чем у беспозвоночных животных. Среди позвоночных животных примером является Latimeria - современная кистеперая рыба, обитающая на глубинах 150-800 м и выловленная впервые в 1938 г. К наземным "живым ископаемым" относится ящерца Sphenodon punctatus, древняя лягушка Leio-pelma и маленький страус киви-киви в Новой Зеландии.

Вся древняя фауна сумчатых в Австралии представляется, по существу, уникальной в своем роде, таких животных нет на других материках земного шара.

Развитие млекопитающих

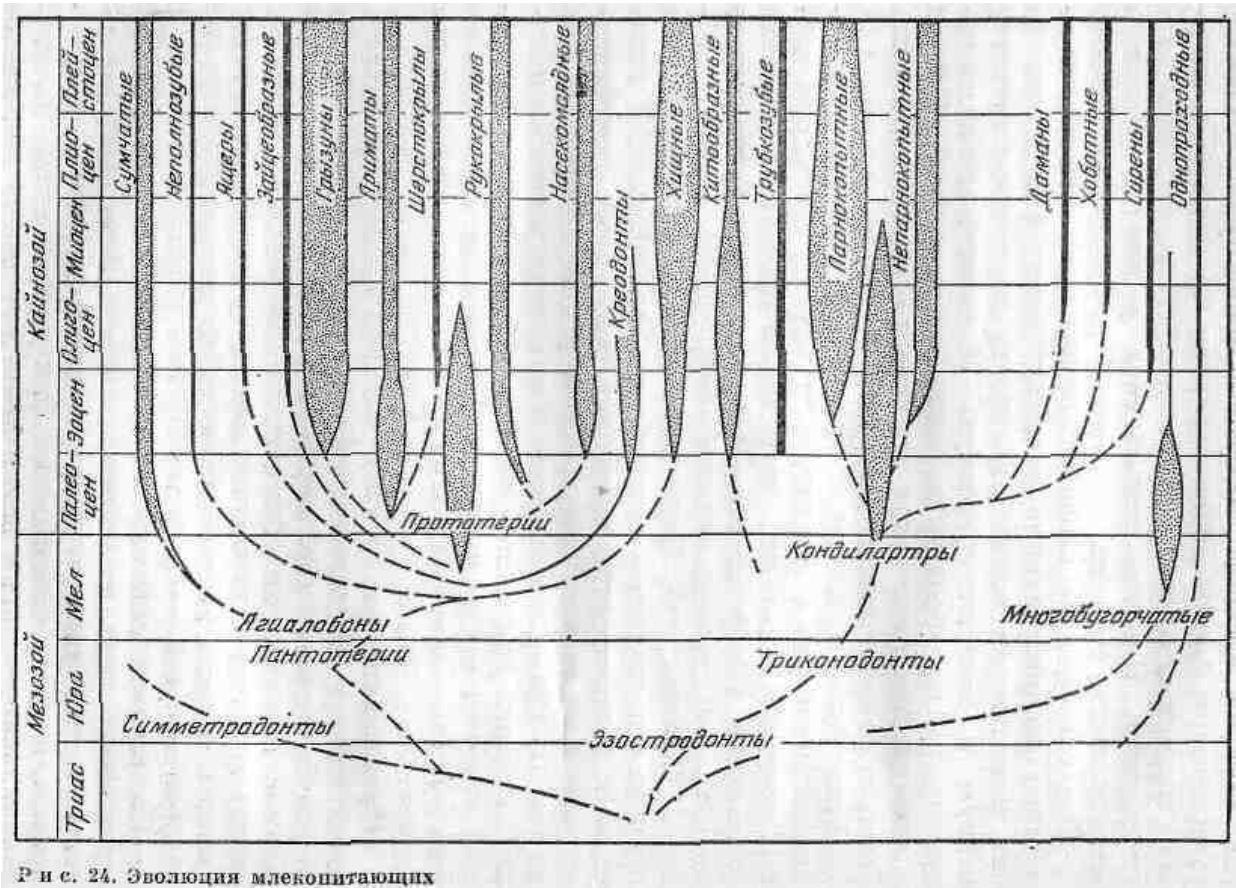
Как уже говорилось, млекопитающие представляют собой высший класс позвоночных животных, который по степени своей организации венчает всю систему царства животных. Наиболее существенные черты общей организации млекопитающих заключаются в следующем.

- 1. Они обладают совершенной системой регулирования тепла, что обеспечивает им относительно постоянную температуру тела. Таким образом создается постоянство внутренней среды организма. Эти свойства имеют решающее значение в распространении млекопитающих в разнообразных физико-географических условиях.
- 2. Они являются живородящими и вскармливают детенышей молоком, что обеспечивает лучшую сохранность животных в младенческом возрасте и возможность размножения в весьма разнообразных условиях.
- 3. Млекопитающие обладают высоким уровнем развития нервной системы, которая обеспечивает сложные и совершенные формы приспособления организмов к внешней среде и всю систему взаимодействия различных органов тела. Процесс цефализации у них проявился в максимальной степени.

Все отмеченные свойства определяют почти повсеместное распространение млекопитающих в биосфере, где они заселяют все жизненные среды: воздушно-наземную, водную и почвенно-грунтовую. Млекопитающие, по существу, распространены по всему земному шару. Нет их только на Антарктическом континенте, однако на его побережье находят тюленей и китов.

Ближайшими предками млекопитающих были древние палеозойские рептилии, сохранившие некоторые черты строения амфибий: кожные железы, расположение сочленений в конечностях. Палеонтологи допускают, что подобной предковой группой был подкласс звероподобных (Theroinorpha). Наиболее близок к млекопитающим один из его отрядов - зверозубых (Theriodontia). У ископаемых остатков этих животных зубы были дифференцированы на те же группы, что и у млекопитающих, т. е. на резцы, клыки и коренные, и находились они в альвеолах. Имелось вторичное костное небо - весьма характерный признак млекопитающих. Родословные связи отдельных групп млекопитающих животных представлены на рис. 24.

Малые размеры древних млекопитающих указывают, что предками их, вероятно, были примитивные и мелкие зверозубые, например иктидозавр из верхнего триаса Южной Африки. Это было животное размером с крысу, скелет которого удивительно сходен со скелетом млекопитающих, только нижняя челюсть у него состояла из нескольких костей.



По палеонтологическим данным, зверозубые просуществовали лишь до верхнего триаса. Реальные палеонтологические находки древних млекопитающих приурочены к юрским отложениям. Они представлены высоко-специализированными животными, и поэтому их возникновение может быть отнесено к более раннему периоду - триасу. С конца его до неогена существовали так называемые многобугорчатые - мелкие животные размером с крота, и лишь немногие из них достигали размеров сурка. Клыков у них не было, а резцы были развиты очень сильно. Многобугорчатые представляли собой специализированные формы растительноядных зверей. Возможно, их самые ранние формы дали начало однопроходным. Во всяком случае, строение их зубов сходно с зубами зародыша утконоса.

Плацентарные млекопитающие, вероятно как и сумчатые, произошли, от пантотериев (отряд бугорчатозубых) в начале мелового периода. Самые ранние формы, относимые к насекомоядным, известны из позднемеловых отложениях Монголии. В меловой период плацентарные млекопитающие разделились. Китообразные и грызуны дали боковые ветви. Насекомоядные являлись предками многих отрядов млекопитающих. От них произошли летучие мыши, неполнозубые, приматы и др. Хищнокопытные образовали единый ствол, который со временем разделился на две ветви - хищных и копытных. От древних хищных, или креодонтов, возникли ластоногие, от копытных - непарнокопытные, парнокопытные и, вероятно, хоботные. Во второй половине кайнозоя плацентарные млекопитающие стали господствующей группой животных на земном шаре.

Сумчатые млекопитающие появились в начале мелового периода. Остатки их обнаружены в отложениях верхнего мела Северной Америки и палеогена Евразии. Отсюда можно

заклучить, что родиной сумчатых могло быть Северное полушарие. Однако в неогене они были вытеснены более высокоорганизованными плацентарными млекопитающими, а в настоящее время сумчатые сохранились лишь в Австралии, Новой Гвинее и Южной Америке.

По палеонтологическим данным, высшие плацентарные млекопитающие произошли от трехбугорчатых в начале мелового периода. Они образовали 31 отряд, из которых 17 дожили до настоящего времени, а 14 полностью вымерли. Плацентарные млекопитающие развивались одновременно с сумчатыми.

Древнейшим отрядом млекопитающих были насекомоядные, остатки которых найдены в отложениях верхнего мела. Эти маленькие зверьки вели частично наземный, частично древесный **образ** жизни. Приспособление ряда древесных насекомоядных к планированию, а затем к полету привело к образованию летающих форм - отряда рукокрылых. Постепенный переход к питанию более крупными животными и увеличение размеров явились существенной предпосылкой для формирования отряда древних хищников, или креодонтов, что произошло в начале палеогенового периода. Однако в дальнейшем, когда травоядные формы приобрели большую подвижность, креодонтов вытеснили более совершенные хищники - непосредственные предки современного отряда Carnivora. Уже в олиго-ноне обитали предковые группы вивер, куниц, собак и кошек, а в неогене - крупные саблезубые кошки с огромными изогнутыми клыками.

Еще в начале палеогена хищники разделились на две неравноценные группы: большую - наземных хищников в меньшую - ластоногих. Ластоногие стали обитателями морских и пресноводных водоемов, питались главным образом рыбой.

От креодонтов, перешедших к растительной пище, в самом начале палеогена зародились первые копытные, или кондилартры. Первоначально это были относительно мелкие (размером от куницы до волка) всеядные животные с умеренно длинными клыками, бугорчатыми коренными зубами и пятипалыми конечностями, в которых наиболее развитым был средний палец. От кондилартр произошли две ветви современных копытных - непарнокопытные и парнокопытные.

В эоцене появились хоботные, однако происхождение их неясно. Также неясным остается происхождение китообразных. От древних насекомоядных, по-видимому, ведут свое начало грызуны, неполнозубые, трубкозубые и приматы.

Эволюция млекопитающих протекала в течение всей кайнозойской эры. На суше преобладали цветковые растения, служившие важной кормовой базой для расселения и развития на разных континентах класса млекопитающих. Во многих случаях животные вынуждены были приспосабливаться к новым экологическим условиям. При этом предковые формы исчезали, а потомки становились более совершенными и превращались, по сути, в новые виды. Разделение континентов в кайнозойской эре привело к возникновению относительно изолированных зоогео-графических областей, сохранивших реликты древней фауны. В эпоху господства сумчатых полностью отделился Австралийский материк. Несколько позже от Северной Америки отошла Южная, сохранившая реликты фауны начала кайнозойской эры. К тому времени Южная Америка полностью утратила возможность обмена животными с другими материками. В начале палеогена Южную Америку населяло много млекопитающих, которые 40-30 млн лет назад развивались самостоятельно, без влияния пришельцев.

Первоначально в Южной Америке господствующее положение занимали сумчатые. По своим размерам они превышали опоссумов и были более плотоядными. В дальнейшем сумчатые становились крупнее и сильнее. В миоцене появились сильные и гибкие животные. Впоследствии они стали еще крупнее, достигнув размеров саблезубого тигра.

Населяющие Южную Америку плацентарные млекопитающие /в дальнейшем не превосшли сумчатых. Фауна плацентарных была представлена весьма разнообразными формами. Было много копытных четвероногих величиной от кролика до носорога, имевших резцы для обглады-вания древесной растительности. Тоатерий походил на лошадь головой и длинными передними зубами, приспособленными для перетирания растительной пищи, а также прямым позвоночником и однопалыми тонкими ногами.

Предки броненосцев, ленивцев и муравьедов известны из раннепалеогеновых отложений Южной Америки. В процессе эволюции они образовали гигантские формы. Броненосец плейстоцена - глиптондон достигал в длину почти 1,6 м. У него была толстая, как бы бронированная шапка на голове, а также панцирь, покрывавший тело. Все это, естественно, требовало мощного скелета. В Южной Америке существовали гигантские наземные ленивцы. Некоторые из них были размером со слона. Гигантские муравьеды приспособились питаться термитами, они разоряли их гнезда мощными когтистыми передними лапами.

Установившаяся экосистема относительного равновесия сумчатых и плацентарных подверглась резким и сильным изменениям в позднем плиоцене. Тогда возник центральноамериканский перешеек и впервые за 40 млн лет животные смогли свободно перемещаться между Северной и Южной Америкой. Более высокоорганизованные североамериканские млекопитающие обрели на вымирание большинство коренных "южноамериканцев", в частности копытных и крупных сумчатых. И лишь незначительная часть южноамериканских млекопитающих проникла в Северную Америку. К ним относится опоссум, броненосец. Гигантские наземные ленивцы достигли Аляски.

В Северной Америке и Евразии происходила эволюция крупных животных - копытных и слонов. Эволюция лошадей изучена лучше всего. Основные ее этапы совершались в Северной Америке. К предкам лошадей относят гиракотерия (Hyracotherium) или эогиппуса (Eohippus)размером с небольшую собаку. Остатки этого предка датируются палеоценом. Однако гиракотерий мог быть также далеким предком других непарнокопытных - тапиров и носорогов.

Гиракотерий быстро передвигались в пространстве и питались преимущественно листьями кустарников. В эоце-не и олигоцене размеры лошади увеличивались, ноги их удлиннялись и стали трехпальными, а зубы приспособились к подрезанию и измельчению листьев. В начале неогена возникли обширные пространства, покрытые травами. В результате у всех травоядных животных, обитавших на открытых равнинных просторах, появился хороший источник питания. В этих условиях лучше всего существовали лошади, зубы которых были как раз приспособлены для измельчения растительной пищи. Таким образом, лошади из животных, общипывавших листву кустарников и побеги, превратились в пасущихся животных. Правда, в миоцене небольшое количество лошадей еще населяло кустарниковую местность, и они сохранили трехпальные конечности. Животные достигали размеров современного пони. Дальнейшее развитие лошадей выразилось в образовании гиппарионовой фауны, широко распространившейся на обширных просторах Северной Америки и Евразии. Гип-парионы представляли собой небольших лошадей, у которых трехпалые конечности характеризовались резким уменьшением боковых пальцев и ярко выраженным копытом. От гиппарионов ведут свое происхождение предки настоящих лошадей современного рода Equus.

Гиракотерий дали потомков других непарнокопытных- тиганотериев и носорогов. Эволюция носорогов протекала сложно, в результате образовались очень разнообразные и порой причудливые формы. Предками носорогов были массивные животные с короткими ногами. Они питались листьями и молодыми побегами. Существовали и мелкие носороги с длинными ногами, но они вымерли в олигоцене, вероятно не выдержав конкурентной борьбы с лошадьми. Многие носороги напоминали современных гиппопотамов. Среди носорогов встречались крупные животные. Носорог белуджитерий был самым крупным сухопутным млекопитающим из всех когда-либо обитавших на Земле. Его рост достигал 5-6 м. Благодаря этому животное могло питаться листьями и молодыми побегами высоких деревьев. Белуджитерий жил в позднем олигоцене и раннем эоцене в Центральной Азии.

История развития слонов довольно сложна. Заключительный этап их развития начинается с неогена. Поздне-кайнозойские их предки изменили способ пережевывания пищи: челюсти двигались лишь в одном направлении - вперед и назад по одной линии. Это изменение жевательных функций вызвало изменение морфологических особенностей головы.

Среди млекопитающих выделился отряд приматов, предки которых, по палеонтологическим данным, известны с мелового периода. Наиболее древние приматы были похожи на современных лемурув и долгопятов. Примерно 80 млн лет назад появились древнейшие приматы, которые обитали на деревьях. В палеогене (67- 25 млн лет назад) произошло разделение древних приматов на низших и человекообразных обезьян, а 12-8 млн лет назад в Индии и Африке появились рамапитеки - древнейшие из известных приматов, обладавшие чертами сходства с человеком. В плиоцене (около 5 млн лет назад) в Африке появился австралопитек -• ближайший предшественник человека среди приматов, ходивший на двух ногах и применявший первые орудия. Австралопитеки существовали 5-1 млн лет назад. Время перехода некоторой части австралопитеков к труду относится приблизительно к дате 2,6 млн лет назад, что отмечается уникальными находками останков предков человека в Восточной Африке. В эпоху раннего палеолита появляется первый настоящий человек. Поскольку эволюция приматов имела выдающееся значение в биосфере, на ней следует остановиться более подробно.

Эволюция приматов и человека

...Земля долго готовилась к принятию человека, и в одном отношении это строго справедливо, потому что человек обязан своим существованием длинному ряду предков. Если бы отсутствовало какое-либо из звеньев этой цепи, человек не был бы тем, кто он есть. От обезьян Старого Света произошел в отдаленный период времени человек, чудо и

слава мира.

Ч. Дарвин

Приматы относятся к наиболее высокоорганизованному отряду млекопитающих. Они обладают развитой нервной системой и достаточно крупным головным мозгом. У приматов развито бинокулярное зрение, а у обезьян и человека зрение цветное. Подавляющее большинство приматов как в прошлом, так и в настоящем - это древесные формы. Они жили среди деревьев и питались преимущественно их плодами, лишь немногие впоследствии перешли к наземному образу жизни (гориллы, павианы). Приматы подразделяются на два подотряда: полубезьяны и человекоподобные.

По всей вероятности, обезьяны произошли от лемуру-подобных предков в палеогене. Высшие приматы подразделяются на три большие группы: обезьяны Нового Света, обезьяны Старого Света и гоминиды, включающие крупных обезьян и человека.

Заключительным и наиболее важным событием в эволюции приматов было появление человека. Оно определило в пределах биосферы развитие новой оболочки - антропо-сферы - сферы активного влияния цивилизации на окружающую среду. Со временем антропосфера должна перейти в ноосферу - сферу человеческого разума, наиболее полное представление о которой было развито В. И. Вернадским.

Данные о предках человека в XIX в. были разрозненными, и первый вопрос, который возникал, - это его древность вообще. Выдающийся английский геолог Ч. Лайель в своей книге "Древность человека" (1864 г.) привел веские доказательства в пользу того, что орудия труда древнего человека могут указывать на степень его древности. Возраст этих грубо обработанных камней определялся по условиям залегания их на значительной глубине совместно с ископаемыми животными.

Ч. Дарвин считал, что человек явился результатом эволюции животного мира. Его обширный труд "Происхождение человека и половой отбор" был выпущен в 1871 г. Однако в то время, по существу, еще не были известны предки человека, за исключением одной находки: в 1856 г. в Германии, в долине Неандерталь, были обнаружены черепная коробка, кусок ключевой кости и останки конечности ископаемого человека. Позже его назвали неандертальцем.

В 1891-1893 гг. военный врач голландской службы Е. Дюбуа, проводя раскопки на острове Ява, нашел черепную коробку, бедро и зубы ископаемого человека более древнего, чем неандерталец. Находка получила название "питекантроп" (Pithecanthropus erectus).

В 1918 г. в 40 км юго-восточнее Пекина шведский геолог Г. Андерсон нашел куски обработанного кварца вместе с костями животных и зубами человека. В дальнейшем в результате упорных и самоотверженных поисков канадца Д. Блэка к 1938 г. были собраны останки не менее 38 особей первобытного человека. Возраст находки оценивался в 400-350 тыс. лет. Сама находка получила название "синантроп" (Pithecanthropus pekinensis).

В 1924 г. профессор Йоханнесбургского университета Р. Дарту изучил ископаемый череп из местечка Таунг в Южной Африке и назвал ископаемое австралопитеком (Australopithecus)-южной обезьяной. Было высказано предположение, что эта находка могла быть связывающим звеном между высшими обезьянами и человеком. В дальнейшем останки австралопитеков были обнаружены и в других районах Африки. На основании изучения останков австралопитеков можно было прийти к заключению, что они имели прямую походку, умели изготавливать орудия из костей животных и занимались охотой. Возраст находок австралопитеков первоначально оценивался в 1 млн лет.

По строению черепа австралопитек занимал промежуточное положение между гориллой и шимпанзе, но по ряду признаков приближался к человеку, которого напоминал больше, чем современные человекообразные обезьяны. Зубы и челюсти его были довольно тяжелыми по отношению к черепу, что указывает на употребление преимущественно растительной пищи, хотя временами он мог употреблять мясо. Объем головного мозга составлял около 450 см3, что превышало мозг крупных обезьян. Вероятно, он достигал 1,2 м высоты.

Дальнейшие многочисленные находки ископаемых приматов в Африке позволили установить, что древнейшие обезьяноподобные люди, изготавливавшие грубые примитивные орудия и охотившиеся на крупных животных, выделились из мира позвоночных животных не 1 млн лет назад, а свыше 2,6 млн лет.

Поиски останков древних гоминид в ущелье Олдовай, между горой Килиманджаро и озером Виктория, начали проводиться в 1931 г. американским антропологом Л. Лики совместно с немецким геологом Г. Рекком. Вскоре в этом ущелье был найден череп, который оказался меньше черепа гориллы и современного человека, но черты его лица были близки к человеческим и походка была прямой. Л. Лики назвал его "зинджантроп" (Zinjanthropus), что означало восточноафриканский человек. Впоследствии по калий-аргоновому методу было установлено, что возраст черепа неожиданно высокий -- 1,75 млн лет! Вскоре были сделаны новые находки, которые получили название Homo habilis, т. е. человек умелый, поскольку вместе с останками нашли каменные орудия.

В 1972 г. на восточном берегу озера Рудольф, у местечка Каоби-Фора, был найден череп, который больше напоминал череп современного человека, чем питекантропа и тем более австралопитека. Туфовый материал, чередующийся с осадочными отложениями, где лежали останки, позволил определить их возраст калий-аргоновым методом - 3,18-2,61 млн лет назад.

Таким образом, согласно современным данным древнейшим человеком был не яванский питекантроп и не пекинский синантроп, а восточноафриканский Homo habilis. Предки его жили совместно с австралопитеками. Представляется вероятным, что одновременно с Homo habilis существовали разнообразные виды ископаемых гоминид. Но австралопитеки и близкие к ним формы вымерли, а человек продолжал жить и развиваться. Вместе с тем в свете новых данных можно заключить, что прародиной человека была Африка. Идеи об африканском происхождении человека были высказаны давно, однако в настоящее время они нашли основательное подтверждение.

За последнее десятилетие изучение эволюции приматов и человека продвинулось значительно вперед. Это объясняется в основном тремя обстоятельствами: во-первых, резким увеличением данных об ископаемых останках предков человека; во-вторых, широким использованием новых количественных методов исследования на молекулярном уровне; в-третьих, установлением того факта, что эволюция человека значительно более сложный процесс, чем это представлялось даже 20-30 лет назад. В целом, несмотря на обширный материал по эволюции человека, многие ее стороны до сих пор остаются слабоосвещенными [Хрисан-фова, Мажуга, 1985].

Данные молекулярной биологии оказали существенную помощь в реставрации родословного дерева приматов. В результате дальнейшего проведения работ в Африке, на территории Кении и Уганды, обнаружено около 1000 ископаемых приматов древностью 22-17 млн лет. Они относятся к гоминидным линиям после их отделения от низших обезьян Старого Света. Новые данные показали, что человеческая ветвь отделилась от ствола африканских антропоидов менее 10 млн лет назад.

В настоящее время большинство палеонтологов и антропологов пришли к единодушному мнению о большей близости предков человека с африканскими антропоидами и о значительной удаленности от азиатских форм. Общий предок для гоминид, шимпанзе и гориллы был вдвое моложе, чем последний прародитель всех крупных гоминидов. Отделение крупных антропоидов от предкового ствола произошло, вероятно, от ветви человекообразных обезьян примерно 8-7 млн лет назад. В то же время установлено, что позднemiопеновые гоминиды были очень разнообразными, что усложнило построение эволюционного дерева.

Наиболее известный Proconsul africanus - проконсул, который представлял собой неспециализированную примитивную форму человекообразной обезьяны, обитавшей на деревьях и питавшейся плодами. По своему строению это животное не было похоже ни на одну из высших обезьян. Его стопы, локтевой и плечевой суставы были, как у шимпанзе, запястья, как у низших обезьян, а поясные позвончики, как у гиббона.

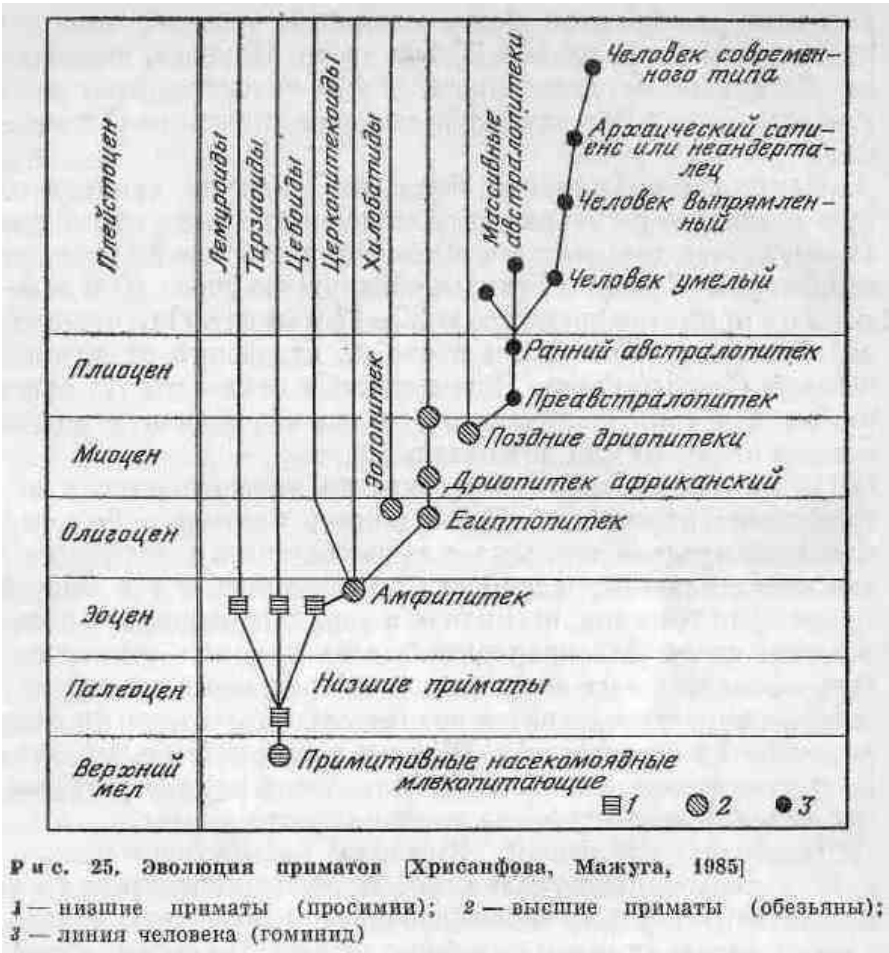


Рис. 25. Эволюция приматов [Хрисанфова, Мажуга, 1985]
1 — низшие приматы (просимии); 2 — высшие приматы (обезьяны);
3 — линия человека (гоминид)

В конце раннего миоцена (около 17 млн лет назад) произошло установление сухопутных связей между Африкой и Евразией, что создало возможность для миграции приматов и обмена сухопутной фауны. Степные травоядные были немногочисленны, а процветали листопадные лесные формы.

Гоминиды Евразии разделились на две большие группы - дриоморфов и рамаморфов. К дриоморфам относились приматы с примитивными чертами гоминид, найденных преимущественно в Европе. В Азии были распространены преимущественно рамаморфы. Название их произошло от рода Ramapithecus - рамапитек, останки которого были обнаружены еще в 1932 г. Ископаемые останки, близкие к рамапитекам, найдены в Пакистане, возраст их оценивается как минимум в 12 млн лет. Разделение африканских и азиатских гоминид должно было произойти примерно 16 млн лет назад.

Первые гоминиды возникли примерно 4-3,75 млн лет назад в Танзании и Эфиопии. В интервале времени 2,5-2 млн лет назад произошла адаптация африканских гоминид, а к концу этого времени существовало три, а то и больше видов гоминид. Около 1,75 млн лет назад Homo habilis исчезает и вместо него появляется Homo erectus. Он широко распространился в Африке почти 1,6 млн лет назад. Около 1 млн лет назад представители этого вида встречались в Восточной и Юго-Восточной Азии и просуществовали примерно до даты 0,3 млн лет назад.

Homo erectus имел более крупный мозг (около 800 см3), чем Homo habilis. По археологическим данным, он изготовлял крупные симметрично обработанные каменные орудия ручные зубила, а некоторые представители, возможно, умели пользоваться и огнем. От архаической формы Homo erectus идет непрерывная линия развития до современной формы Homo sapiens. На этой линии находился неандерталец. Однако с переходом к современному Homo sapiens утрачивается присущая неандертальцам массивность скелета, лица и зубной системы. Общая схема эволюции приматов представлена на рис. 25.

Заключение

Твари Земли являются созданием сложного космического процесса и закономерной частью стройного космического механизма, в котором, как мы знаем, нет случайности.

В. В. Вернадский

Процесс возникновения жизни в ходе длительного необратимого развития природных систем относится к великим загадкам природы. Сейчас мы только приближаемся к ее решению. Несомненно, что возникновение и организация живого вещества связаны со свойствами слагающих его атомов, и в первую очередь со свойствами углерода. Таким образом, первопричиной зарождения жизни были определенные процессы в космической эволюции вещества Солнечной системы или, точнее, в ядерном синтезе (нуклеосинтезе), предшествовавшем рождению этой системы. Именно ядерный синтез привел к образованию атомов биофильных элементов Н, С, N, О в том соотношении, которое оказалось благоприятным для образования сложных органических соединений - непосредственных предшественников жизни. При охлаждении первичной газовой туманности, генетически связанной с ранним Солнцем, возникли органические соединения. Они появились преимущественно на последних стадиях остывания, что фиксировано в дальнейших космических породах - метеоритах и особенно в углистых хондритах.

Поиски следов древней жизни указали нам на отсутствие ее начала. В горных породах раннего докембрия Гренландии, Южной Африки и Западной Австралии обнаружены несомненные геохимические и микропалеонтологические свидетельства существования древней биосферы с господством фотосинтезирующих авто-трофных организмов. Предполагаемая многими учеными ранняя биосфера с гетеротрофными организмами и резко восстановительными условиями существовала относительно недолго. В каменной летописи земной коры мы практически не встречаем ее следов.

С течением геологического времени эволюция живых организмов дала бесчисленное множество видов. Возникновение фотосинтеза произошло около 4 млрд лет назад, а возможно, еще раньше. Фотосинтез в биосфере первоначально осуществлялся синезелеными водорослями и их предками. Возникновение фотосинтеза привело к появлению свободного кислорода и позволило большинству живых существ усовершенствовать свой энергетический обмен, надстроив над прежним анаэробным обменом новые системы кислородного дыхания. Биосфера приобрела мощный кислородный потенциал, определивший общий характер геохимических процессов, миграцию химических элементов и формы их нахождения. В криптозое- докембрии жизнь развивалась в морских условиях и в общем довольно медленно.

В кембрийском периоде появились высшие беспозвоночные животные, которые строили свой скелет из углекислого кальция. Усилилось образование биогенных известняков из их остатков. Развитие скелета у позвоночных животных привело к усилению миграции фтора и фосфора. Выход растений на сушу в девонском периоде определил резкий перелом в развитии биосферы в целом. Он открыл широкие возможности для дальнейшего всестороннего развития животных, а также растений. Вначале появились папоротники, хвощи, семенные папоротники, что усилило миграцию углекислоты. Развитие наземной растительности и образование почв создали предпосылки для выхода на поверхность континентов животных. В результате эволюции растительного мира в мезозойской эре возникли леса хвойных и цветковых растений, полные жизни.

В конце мезозоя и в кайнозое усилилась миграция биофильных элементов в связи с появлением птиц. Таким образом, живое вещество охватило нижнюю часть атмо-сферы - тропосферу. Птицы, как и другие летающие организмы, стали играть видную роль в обмене веществ между сушей и морем. В данном случае роль птиц оказалась обратной роли рек - в переносе вещества из морской среды на сушу, поскольку многие водоплавающие их представители питались рыбой.

Наконец, самые крупные изменения в биосфере Земли наступили в связи с возникновением и развитием человека. В недрах биосферы первоначально возникла антропосфера, начало которой положено расселением первобытного человека по всей поверхности континентов. Человек стал относительно независимым от климата. Однако в ходе развития производительных сил и цивилизации антропосфера, выражающая стихийную деятельность человеческого общества, должна перейти в ноосферу - новую оболочку Земли - область сознательной деятельности человечества.

Термин "ноосфера" был предложен французскими учеными в 1927 г. Э. Леруа (1870-1954) и П. Тейяром де Шарденом (1881-1955) под влиянием идей В. И. Вернадского, лекции которого они слушали в Сорбонне. В развернутом виде представление о ноосфере было дано в книге П. Тейяра де Шардена "Феномен человека". Последнее издание этой книги в русском переводе вышло в 1987 г. В ней автор определяет ноосферу как "новый покров", "мыслящий пласт, который, зародившись в конце третичного периода разворачивается над миром растений и животных-вне биосферы и над ней". Более глубокое понятие о ноосфере было развито В. И. Вернадским в последние годы жизни в статье "Несколько слов о ноосфере" (1944 г.). Он писал: "Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом, становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества, как единого целого. Это новое состояние биосферы, к которому мы, не замечая этого, приближаемся, и есть ноосфера". Согласно В. И. Вернадскому, ноосфера - это биосфера, разумно управляемая человеком.

Ноосфера выходит за пределы земной биосферы в связи с развитием космонавтики. Происходит освоение космического - околосолнечного пространства с непредвиденными возможностями. Создается принципиальная возможность создания искусственных биосфер земного типа на некоторых планетах. Жизнь, зародившись в процессе космической эволюции, возвращается в космическое пространство.

Литература

Баландин Р. К. Время - Земля - Мозг. Минск: Изд-во Вышейш. школа, 1979. 230 с.

Берг Л. С. Соображения о происхождении наземной пресноводной и морской флоры и фауны//Бюл. МОИП. Отд. биол. 1947. Т. 52, X" 5. С. 16-30.

Бернал Дж. Возникновение жизни. М.: Мир, 1969. 392 с. Вдовыкин Г. П. Органическое вещество в метеоритах//Успехи современной биологии. 1979. Т. 8, вып. 1. С. 37-50. Вернадский В. И. Биогеохимические очерки. М.: Иад-во АН СССР, 1940. 200 с.

Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с. \ Видаль Г. Древнейшие эукариотияеские клетки//В мире науки 1984. № 4. С. 14-25., Войткевич Г. В. Космохимические основы зарождения жизни//Земля и Вселенная. 1986. № 5. С. 84-90.

Войткевич Г. В. Древность жизни и космохимические предпосылки ее зарождения//Геохимия. 1987. Ns 8. С. 1053-1074. Войткевич Г. **В.**, Бессонов О. А. Химическая эволюция Земли. М.:

Недра, 1986. 216 с. Войткевич Г. В., Холодков Ю. И. Следы древней жизни на Земле.

Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та. 1976. 90 с. Вологдин А. Г. Земля и жизнь. М.: Недра, 1976. 190 с. Гринберг Дж. М. Межзвездная пыль: Строение и ЭВОЛЮЦИЯ//В мире науки. 1984. № 8. С. 66-77.

Давиташвили Л. Ш. История эволюционной палеонтологии от Дарвина до наших дней. М.: АН СССР, 1948. 576 с. Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора//Соч. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1939. Т. 3. 420 с. Заварзин Г. А. Бактерии и состав атмосферы. М.: Наука, 1984. 190 с.

Кальвин М. Химическая эволюция. М.: Мир, 1971. 320 с. Клауд П. Биосфера//В мире науки. 1983. № 11. С. 102-113. Клауд П. Криптозойская биосфера: ее разнообразие и геологическое значение//27-й МГК: Геология докембрия. Секция С.05. Доклады. Москва, 4-14 авг. 1984 г. М.: Наука, 1984. Т. 5. С. 76-86. Комаров В. Л. Происхождение растений. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 216 с. Кометы и происхождение жизни / Ред. С. Поиамперума. М.: Мир, 1984. 250 с.

Криштофович А. Н. Палеоботаника. Л.: Гостоптехиздат, 1957. 420 с. Крумбигель Г., Вальтер Х. Ископаемые. М.: Мир, 1980. 200 с. Лайель Ч. Древность человека. СПб., 1884. 240 с. Мэйгилс Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М.: Мир, 1983. 320 с.

Мкклер Л. Б. О происхождении живых клеток: эволюция биологически значимых молекул - переход химической эволюции в биологическую. Новый подход к проблеме//Журн. ВХО

им. Менделеева. 1980. Т. 25, № 4. С. 390-426. Понамперума С. Химические исследования происхождения жизни//27-й МГК: Сравнительная планетология. Секция С.05. Доклады. Москва, 4-14 авг. 1984 г. М.: Наука, 1984. Т. 19.

С. 135-141. Руденко А. П. Эволюционная химия-исторический подход к проблеме происхождения жизни//Журн. ВХО им. Менделеева. 1980. Т. 25. № 4. С. 390-411. Руттен М. Происхождение жизни (естественным путем). М.: Мир, 1973. 412 с. Соколов Б. С. Органический мир Земли на пути к фанерозойской дифференциации//Вестн. АН СССР. 1976. № 1. С. 126-143. Соколов Б. С. Палеонтология докембрия и раннего кембрия. Л.: Наука, 1979. С. 5-16. Стэнли С. М. Массовые вымирания в океане//В мире науки. 1984. No. 8. С. 26-35. Хрисанова Е. Н., Мажуга П. М. Очерки эволюции человека. Киев: Наук. думка.1985. 150 с. Цицин Ф. А. Космические факторы возникновения и развития жизни на Земле и разума во Вселенной//Журн. ВХО им. Менделеева. 1980. Т. 25, № 4. С. 435-440. Шидловский М. Осадочное органическое вещество 3,8 млрд лет назад: Изотопные отпечатки жизни//27-й МГК: Сравнительная планетология. Доклады. Москва, 4-14 авг. 1984 г. М.: Наука, 1984. Т. 19. С. 119-125. Шульман С. С. Проблема происхождения Metazoa./Теоретические вопросы систематики и филогении животных. М.: Наука, 1974С. 47-82. Brooks I. Organic matter in meteorites and precambrian rocks: clues about the origin and development of living systems//Phil. Trans.

Roy. Soc. London A. 1981. Vol. 303, N 1480. P. 595-609. Ciochon R. L., Savage D. E., Tint Thaw, Maw Ba. Anthropoid on

Asia? New discovery of Amphipithecus from eocen of Burma// Science. 1985. Vol. 229, N 4715. P. 756-758. Delsemme A. H. Are comets connencted to the origin of life?//Comets and the origin of life. Dordrecht: Reidel, 1981. P. 141-160. Gidley D. W., Rich A., Van-House J., Litzewitz P. W. ji-decav and the origin of biological chirality: experimental results//Nature1982. Vol. 297, N 5868. P. 639-643. Hayatsa R., Anders E. Organic compounds in meteorites and their

origin//Topics in current chemistry cosmo and geochemistry.

1981. P. 1-37. Owen T. Life as a planetary phenomenon, Earth//Orient. Appl. Space

Technol. 1984. Vol. 4, N 1, P. 31-38. Schopf J. W. The evolution of the earliest cells//Sci. Amer. 1978Vol. 239, N 3. P. 85-104. Yoshiro D., Hayatsa R., Anders E. Origin of organic matters in earlysolar system. Aminoacids: catalitic synthesis//Geochim. et cosmochim. acta. 1971. Vol. 35, N 9. P. 927-938.

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук Г.И. НЕМКОВ

доктор геолого-минералогических наук И. Н. САФРОНОВ

Войткевич Г. В.

В61 Возникновение и развитие жизни на Земле.- М.:

Наука, 1988.-144 с., ил.- (Серия "Планета Земля и Вселенная"). ISBN 5-02-001961-5

В книге излагается актуальная проблема современного естествознания - происхождение жизни. Она написана на основе самых современных данных геологии, палеонтологии, геохимии и космохимии, которые опровергают многие традиционные, но устаревшие представления о происхождении и развитии жизни на нашей планете. Глубокая древность жизни и биосферы, соизмеримая с возрастом самой планеты, позволяет автору сделать вывод: происхождение Зе,мли и жизни - единый взаимосвязанный процесс.

Для читателей, интересующихся науками о Земле.

1904040000-450 . в 054(02)-88 s6-88 нп ББК 26-8

ISBN 5-02-001961-5

© Издательство "Наука", 1988

Научно-популярное издание

Войткевич Георгий Витольдовнч

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НАЗЕМЛЕ

Утверждено к печати Редколлегией серии "Научно-популярная литература" Академии наук СССР

Редактор издательства Л. И. Приходько

Художник М. Л. **Блох**

Художественный редактор **В. Ю. Кученков**

Технический редактор М. Ю. Соловьева

Корректоры Н. Г. Васильева, Р. З. Землянская

ИБ № 37439

Сдано в набор 16.09.87 Подписано к печати 30.11.87 Т-18657. Формат 84 X 108 *Час* Бумага книжно-журнальная Гарнитура обыкновенная Печать высокая

Усл. печ. л. 7,56. Усл. кр. отт, 7,98 Уч.-изд. л. 8,0

Тираж 50 000 экз. Тип. зак. 871 Цена 40 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Наука" 117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства "Наука" 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

Last-modified: 05.03.2000

[Вернуться на главную страницу](#)

