

ЛЕКЦИЯ 7

Возникновение жизни на Земле и эволюция ее форм

§7.1 Что такое жизнь?

В основе биологических процессов лежат физико-химические закономерности. Нет ни одного биологического явления, которое бы противоречило фундаментальным законам физики и химии. Материальная основа жизни — это, прежде всего, взаимодействие электрически заряженных частиц, образующих атомы и молекулы вещества. Влияние остальных фундаментальных взаимодействий — сильного, слабого и гравитационного — в биологических процессах несравнимо меньше, чем электромагнитного. Удивительно, что природа электрических явлений в природе так долго была скрыта от человека. Систематические научные исследования в области электричества начались только во второй половине XVIII века.

И все же считать биологию одним из разделов химии или физики, где изучаются белки и нуклеиновые кислоты, нельзя, так как на биологическом уровне организации материи появляются новые закономерности, которых просто не могло быть на более низком иерархическом уровне.

Интуитивно все представляют себе, что такое жизнь. Мы знаем, что сами живы, что живы деревья во дворе, что жива наша кошка (или собака), а вот камень, лежащий на дороге, нет. Однако попробуйте выразить эти интуитивные представления в виде строгого определения, и сразу возникают проблемы, с которыми ученые и философы не могут справиться вот уже 2500 лет.

В XX в. прогресс в биологии сопровождался более глубоким пониманием феномена жизни. Выдающийся биохимик академик В. А. Энгельгардт отмечал, что «в способности живого создавать порядок из хаотического теплового движения молекул состоит наиболее глубокое, коренное отличие живого от неживого. Тенденция к упорядочению, к созданию порядка из хаоса есть не что иное, как противодействие росту энтропии». Эта мысль развивается одним из создателей квантовой механики физиком Э. Шредингером в его знаменитой книге «Жизнь с точки зрения физики»: «Живой организм может избегнуть состояния максимальной энтропии, которое представляет собой смерть, только путем постоянного извлечения отрицательной энтропии из окружающей его среды. Отрицательная энтропия — вот то, чем организм питается. Или, чтобы выразить это менее парадоксально, существенно в метаболизме то, что организму удается освобождать себя от всей той положительной энтропии, которую он вынужден производить, пока он жив».

Поведение объектов живой природы настолько отличается от неживой (косной), что люди долго объясняли и продолжают объяснять феномен жизни присутствием нематериальных факторов. Например, еще Аристотель говорил, что «душа — это энтелехия жизни», то есть жизнь начинается там, где есть нематериальная душа. Такой подход к объяснению жизни называется витализмом. Существует и противоположный подход, согласно которому все особенности проявления жизни в принципе можно свести (редуцировать) к биологическим, а эти последние — к физико-химическим закономерностям. Это механистический подход к объяснению жизни. Истина, как всегда,

находится посередине. Жизнь, безусловно, материальна, но подчиняется качественно новым закономерностям, не сводимым к законам физики, химии, биологии.

Начнем с того, что живые организмы даже на клеточном уровне представляют собой большие системы, состоящие из огромного числа атомов и молекул. Невозможно представить себе живой организм из нескольких десятков и даже нескольких тысяч атомов. Объем самой маленькой одноклеточной бактерии составляет всего 0,02 кубических микрона. Такой объем имеет шарик диаметром всего четверть микрона. Однако в нем содержится около 80 тысяч макромолекул (белков и нуклеиновых кислот)! Помимо них, в состав бактерии входят молекулы воды и других простых веществ. И такая бактерия быстро растет, делится, то есть обнаруживает исключительную активность. Что же тогда можно сказать о многоклеточных организмах! Ведь человек в среднем состоит из $50 \cdot 10^{12}$ клеток, а большой кит — из 10^{17} клеток!

Самый разумный подход к определению понятия «жизнь» - это перечисление атрибутов живого, свойств отличающих живые организмы от неживой материи.

Свойства живых организмов:

1. сложная упорядоченная структура (неравновесность и сложность);
2. способность к изменению и усложнению;
3. способность к самовоспроизведению на основе генетического кода (биополимеры);
4. высокая приспособляемость к внешней среде (гомеостаз) ;
5. получение энергии из внешней среды и использование ее на поддержание собственной упорядоченности (обмен веществ и энергии с окружающей средой);
6. активная реакция на внешнюю среду (раздражимость) ;
7. способность сохранять и передавать информацию;
8. молекулярная хиральность (диссимметрия);
9. клеточная структура.

§7.2 Основные концепции возникновения жизни на Земле.

С античных времен до наших дней не прекращаются дискуссии и споры по поводу того, как возникла жизнь на Земле. Мы коснемся четырех основных концепций возникновения жизни.

1. Креационизм

(жизнь была создана сверхъестественным существом, Богом, Высшим Разумом в определенное время);

Креационизм (от лат. creatio, род. п. creationis — творение) — теологическая и мировоззренческая концепция, согласно которой основные формы органического мира (жизнь), человечество, планета Земля, а также мир в целом, рассматриваются как непосредственно созданные Творцом или Богом.

История креационизма является частью истории религии, хотя сам термин возник не так давно. Примечательно, что при буквальном прочтении священных текстов, можно получить достаточно точную дату сотворения Земли, а именно 4000 год до н.э. Что находится в прямом противоречии с данными различных наук и в качестве серьезной научной гипотезы не рассматривается.

Термин «креационизм» стал популярным приблизительно с конца XIX столетия, означая концепции, признающие истинность изложенной в Ветхом Завете истории сотворения мира. Накопление данных различных наук (от астрономии до геологии и биологии), в особенности распространение в XIX веке теории эволюции, привело к возникновению противоречия между новыми взглядами в науке и библейской картиной мира.

Не объясняя, а просто постулируя акт творения, креационизм аргументирует свою правоту методом «от противного», акцентируя внимание на несостоятельности других концепций, прежде всего концепции абиогенного происхождения жизни, выискивая возможные слабые места в научных теориях. В то же время креационизм фактически уводит человека от ответов на эти вопросы, так как акт творения, как и все божественное, является принципиально необъяснимым (иррациональным) с научной точки зрения. Креационизм вообще не является научной гипотезой и может быть принят только на веру, создавая психологический комфорт от чудесного решения сложнейшей проблемы.

Концепция креационизма является религиозно-философской концепцией и в общем смысле базируется на таких положениях, которые не могут являться предметом исследования науки и не соответствуют общепринятым критериям научности. Все попытки придать креационистским взглядам статус достоверных научных знаний можно рассматривать как псевдонауку.



Рафаэль «Сотворение животных» 1515-1520 гг. Рим, Лоджии Ватикана

К креационистским взглядам на возникновение жизни можно отнести и различные гипотезы, в которых под «Творцом» понимаются какой-либо абстрактный сверхразум или высокоразвитые инопланетные цивилизации. Но и у всех подобных концепций остаются всё те же слабые места: не описываются механизмы создания жизни, условия, цели создателей, не ясно, как возникли сами возможные создатели. Кроме обоснованной или необоснованной критики имеющихся слабых мест в научных концепциях креационисты любого толка не предлагают никаких проработанных механизмов возникновения жизни.

С другой стороны, необходимо понимать, что научные концепции возникновения жизни на Земле (см. ниже) сами по себе никак не отрицают возможность существования сверхъестественных существ. Любая научная теория (в том числе и теории возникновения жизни, и теория эволюции) акцентируют внимание на фактах и проверяемых на опыте утверждениях и гипотезах, обходя стороной вопросы существования сверхъестественного.

2. Теория стационарного состояния

(жизнь существовала всегда);

Согласно данной концепции Земля и все виды живых существ на ней существовали всегда и никогда не возникали. Если изменения в облике планеты и происходили, то очень незначительные.

Несмотря на то, что данной концепции вечного существования жизни во Вселенной придерживались многие философы с древнейших времен, эта концепция никак не согласуется с концепцией Большого Взрыва, которая в настоящее время не вызывает сомнений и прочно вписывается в естественнонаучную картину мира. Действительно, допущение о том, что элементы жизни уже существовали в самые первые мгновения после Большого взрыва, когда Вселенная представляла собой кварк-глюонную плазму, слишком фантастично, чтобы научно рассматривать такую возможность. Если рассматривать только одну температуру Вселенной на ранних этапах ее существования (миллиарды градусов), мы уже вправе усомниться в том, что не только живые существа, но и даже простейшие атомы могли существовать.

На неправильность данной концепции указывает и оцененный с хорошей точностью возраст Земли, Луны и Солнечной системы в целом: $\approx 4,6$ млрд. лет. Так же приверженцам стационарности биологических видов приходится отрицать данные палеонтологии: различные ископаемые останки живых существ свидетельствуют в пользу эволюции жизни на Земле.

Обобщим сказанное: на данный момент теория стационарного состояния представляет собой только исторический или философский интерес, так как выводы этой теории противоречат научным данным.

3. Теория самопроизвольного зарождения

(жизнь возникала неоднократно из неживого вещества);

Данная концепция возникла еще в древности, в Китае и Египте. Ее поддерживали и некоторые авторитетные древнегреческие философы, в частности Аристотель и Платон, а также более поздние ученые (Галилей, Бэкон, Декарт, Гегель, Ламарк). Согласно Аристотелю, частицы вещества содержат «активное начало», дающее возможность зародиться живому (лягушки и насекомые – в сырой земле, черви и водоросли – в стоячей воде, личинки мух – в мясе).

Первый ощутимый удар по этой теории нанес итальянский естествоиспытатель и врач **Ф. Реди (1626—1698)**, который в 1688 г. проделал опыт с закрытыми и открытыми сосудами, где были помещены мертвые змеи. В открытом сосуде мухи откладывали свои яйца и из них развивались личинки мух. В закрытом сосуде этого не происходило — отложенные на закрывающую банку кисею яйца не давали личинок. Из этих опытов и возник известный принцип Ф. Реди — «*все живое от живого*». В дальнейшем французский микробиолог **Л. Пастер (1822—1895)** и английский физик **Тиндаль (1820—1893)** показали,

что при определенных условиях (стерилизация, а в дальнейшем возник и термин «пастеризация») живые организмы — вирусы — не могут возникать. Однако это еще не является доказательством невозможности возникновения живого из неживого.

Таким образом, к концу XIX в. в естествознании утвердилась концепция **биогенеза** («все живое от живого»), которая, однако, не отвечала на важнейший вопрос: как появился первый живой организм?

Большое количество самых различных опытов опровергли возможность самопроизвольного зарождения живого из неживых веществ за короткое время. В современном естествознании данная концепция упоминается лишь как исторический этап развития естественных наук.

Согласно современным представлениям жизнь возникла из неживой материи, но только в условиях, сильно отличавшихся от современных, и за длительный промежуток времени — в течение сотен миллионов лет. Можно также предположить, что возникновение жизни является обязательным этапом эволюции материи, и такое событие могло происходить неоднократно и в разных частях Вселенной.

К анализу уникальных условий рождения живого из неживого (абиогенный синтез живого) ученые приступили в начале XX в. Результатом стала концепция **абиогенного происхождения жизни** на Земле, основанная на гипотезе происхождения жизни путем биохимической эволюции. Выдвинутая независимо российским ученым академиком А. И. Опариным и английским ученым Холдейном (гипотеза Опарина–Холдейна), эта концепция прочно вошла в современную естественнонаучную картину мира.

4. Панспермия

(жизнь занесена на нашу планету извне (из космоса));

Ряд ученых придерживается версии занесения простейших живых клеток на Землю с различными астрономическими телами: астероидами, метеоритами. В настоящее время получены космохимические данные, указывающие на возможность возникновения органических веществ, характерных для живых организмов, химическим путем в космических условиях. При изучении состава метеоритов и комет были обнаружены спирты, карбонильные соединения, вода, синильная кислота, формальдегиды и т.д. Большая часть молекул, обнаруженных в межзвездных облаках, относится к простейшим соединениям углерода, в том числе аминокислотам. Недостатком данной концепции является тот факт, что она не дает обоснованного ответа на вопрос «как же все-таки появилась жизнь», лишь отодвигая место зарождения жизни с Земли в какое-то другое место в космосе.

Фрэнсис Крик и Лесли Оргел предложили в 1973 году другой вариант — управляемую панспермию, то есть намеренное «заражение» Земли (наряду с другими планетными системами) микроорганизмами, доставленными на непилотируемых космических аппаратах развитой инопланетной цивилизацией, которая, возможно, находилась перед глобальной катастрофой или же просто надеялась произвести терраформирование других планет для будущей колонизации. В пользу своей теории они привели два основных довода — универсальность генетического кода (известные другие вариации кода используются в биосфере гораздо реже и мало отличаются от универсального) и значительную роль молибдена в некоторых ферментах. Молибден — очень редкий элемент для всей Солнечной системы. По словам авторов, первоначальная цивилизация, возможно, обитала возле звезды, обогащенной молибденом.

Против возражения о том, что теория панспермии (в том числе управляемой) не решает вопрос о зарождении жизни, они выдвинули следующий аргумент: на планетах другого неизвестного нам типа вероятность зарождения жизни изначально может быть намного выше, чем на Земле, например, из-за наличия особенных минералов с высокой каталитической активностью.

5. Теория биохимической эволюции

(жизнь возникла в результате процессов, подчиняющихся химическим и физическим законам).

Теория биохимической эволюции (или теория **абиогенеза** – возникновения живого из неживой материи) – основная научная концепция возникновения жизни. Согласно этой концепции жизнь на Земле возникла около 3,7 млрд. лет назад из неживой материи. Возникновению первых живых существ предшествовал этап химической эволюции. Климатические, химические, физические условия, при которых возникла жизнь, существенно отличались от современных.

Более подробно абиогенез будет рассмотрен в следующем параграфе.

§7.3 Возникновение жизни на Земле.

Мы или одиноки во Вселенной, или нет. Любая из этих мыслей пугает.
Артур Кларк

Серьезные ученые, занятые поисками возможной внеземной жизни, утверждают: об этой жизни — если, конечно, она существует — невозможно сказать ничего определенного. Тем не менее, исходя из наших знаний о физике, химии и биологии, можно сделать несколько общих предположений о природе внеземной жизни.

Первое. Ученые считают, что ключевым фактором для возникновения жизни во Вселенной является жидкая вода. «Ищите воду» — такую мантру повторяют астрономы, занимаясь поиском свидетельств существования внеземной жизни. Жидкая вода, в отличие от большинства других жидкостей, является «универсальным растворителем» и способна растворять поразительное количество всевозможных химических веществ. Это идеальная среда для возникновения все более сложных молекул. Кроме того, сама молекула воды очень проста, ее можно найти повсюду во Вселенной, тогда как другие растворители встречаются редко.

Второе. Нам известно, что углерод — очень вероятный компонент жизни. Дело в том, что атом углерода четырехвалентен, а значит, может связываться с четырьмя другими атомами, создавая в результате молекулы невероятной сложности. В частности, он легко образует длинные углеродные цепочки — основной элемент углеводородных соединений и всей органической химии. У других четырехвалентных элементов ряд возможных химических соединений далеко не столь богат.

Третье. Основа жизни — способная к самовоспроизведению молекула под названием ДНК. В химии самокопирующиеся молекулы встречаются чрезвычайно редко. Потребовались сотни миллионов лет, чтобы на Земле, скорее всего в глубинах океанов, сформировались первые молекулы ДНК. Считается, что, если бы можно было провести эксперимент Миллера-Юри протяженностью в миллион лет в объеме земных океанов, ДНК-молекулы успели бы спонтанно возникнуть. Одна из самых вероятных площадок, где в начале земной истории могла случайно сложиться первая на планете молекула ДНК, — это

места вулканических выходов на дне океана, так называемые «черные курильщики». Активность этих горячих источников могла послужить удобным источником энергии для первых молекул ДНК и первых клеток — задолго до возникновения фотосинтеза и растений. Нам пока неизвестны другие, помимо ДНК, углеродосодержащие молекулы, способные к самовоспроизведению, но скорее всего, все другие самокопирующиеся молекулы во Вселенной будут в чем-то похожи на молекулы ДНК.

Возникновению жизни на Земле способствовали определенные космические факторы. Во-первых, наличие в нашей Солнечной системе такой массивной планеты как Юпитер, которая как пылесборник притягивает к себе значительную часть астероидов и комет, способных столкнуться с Землей. Во-вторых, наличие нашего естественного спутника Луны способствует стабилизации наклона оси вращения Земли. В-третьих, масса Земли оказалась значительной для того, чтобы удерживать собственную атмосферу.

Место Земли в Солнечной системе уникально. Земля на своей орбите расположена в такой температурной зоне, когда мы имеем как раз равновесную температуру, отвечающую фазовому переходу воды, и это дает возможность возникновения на Земле благоприятных условий для возникновения биосферы, в конечном итоге возникновения даже высокоразвитых форм жизни.

Математическое моделирование показывает, если Землю передвинуть даже на 0.1 астрономических единиц ближе к Солнцу или отодвинете настолько же от Солнца, всё нарушится. Никакого баланса, никакой экосистемы на Земле не сохранится.

Вопрос о происхождении жизни всегда интерпретируется на основе определенных концептуальных представлений. Вплоть до середины 19 века в арсенале биологии не было таких концепций, которые позволяли бы содержательным образом интерпретировать происхождение жизни.

В новейшей биологии нет альтернативы *молекулярно-динамическому подходу*. При этом необходимо учитывать также и достижения небιологических наук, в том числе физики, химии, космологии, геологии.

В современном естествознании идея эволюции нашего мира находит свое применение и к возможности появления жизни из неживого на этапах развития материи от неорганического мира к органическому и далее, к биологическому.

Что же нужно, чтобы объяснить возникновение жизни с позиций физики и химии, какие нужны условия для появления живого из неживого? Считается, что требуются четыре основных условия:

- наличие определенных химических веществ,
- наличие источника энергии,
- отсутствие газообразного кислорода O
- длительное время.

Из необходимых химических веществ вода имеется в избытке на Земле, а неорганические соединения присутствуют в горных породах, в газообразных продуктах извержений вулканов и в атмосфере. Необходимой энергией всегда обеспечивало в первую очередь Солнце, ультрафиолетовое и другие виды излучений, затем тепло от вулканов, горячей лавы, гейзеров и от радиоактивного распада элементов земных пород, молнии.

Предполагают, что жизнь могла возникнуть, когда атмосфера Земли не содержала кислорода. Дело в том, что кислород, взаимодействуя с органическими веществами, разрушает, окисляет их и лишает тех свойств, которые делали бы их полезными для

предбиологических систем. Поэтому если бы органические молекулы на ранней Земле вступали в реакцию с кислородом, то они существовали бы недолго, препятствовали химической эволюции, т.е. не образовывали бы более сложных структур. В наличии атмосферного кислорода кроется одна из причин невозможности самопроизвольного зарождения жизни из органических веществ в наше время.

Из геологических данных известно, что древнейшие породы Земли образовывались в то время, когда ее атмосфера не содержала кислорода, а состояла к моменту предполагаемого зарождения жизни из водяных паров, диоксида углерода и азота. В древних породах Земли находят железо в двухвалентной восстановленной форме Fe²⁺, а в более молодых породах — в трехвалентной Fe³⁺, т.е. в окисленной, которые приводили к образованию H₂, O₂, CH₄, NH₃, HCN, а затем и CO, CO₂, создавая восстановительную атмосферу.

Без энергии Солнца не было бы на нашей планете ни каменного угля, ни нефти, ни других полезных ископаемых. Не было бы фотосинтеза, а значит, не могла бы зародиться жизнь. Энергия Солнца испаряет влагу с земной поверхности, океанов, морей и озер. Влага, превратившись в капли воды, образует облака, туманы, дождь, снег. Благодаря Солнцу возникает циркуляция атмосферы и воды в океанах, которые перераспределяют тепло на планете.

Формирование Солнца и планет Солнечной системы произошло около 4,7 млрд лет назад. Так как Солнце является звездой второго (а возможно, и третьего) поколения, то исходным материалом для него и планет явилось не первичное газовое облако, появившееся в результате Большого взрыва и состоящее приблизительно на 70% из водорода и на 30% из гелия, а более разнообразная среда, куда входили и другие газы, и космическая пыль, и осколки взорвавшихся звезд предыдущих поколений.

Появление жизни необходимо увязывать с космологической эволюцией в целом.

Последовательность этапов эволюции Вселенной:

Большой взрыв – образование элементарных частиц, позже нуклонов – образование атомов и молекул – рождение и эволюция звезд, формирование галактик – образование тяжелых химических элементов – процессы повторного возникновения звезд (звезды второго и третьего поколения) и планетных систем – возникновение Солнца и Земли – образование простейших органических соединений (мономеров) – образование сложных органических соединений (биополимеров) – возникновение клеток, возникновение РНК, позже ДНК и способности к самовоспроизведению – появление многоклеточных организмов – появление млекопитающих – возникновение человека и формирование разума.

Что мы знаем о развитии жизни на данный момент?

- 1) Биофильные химические элементы являются результатом нуклеосинтеза, происходящего в недрах звезд. На ранних этапах развития Солнечной системы происходило образование органических соединений.
- 2) Возникновение жизни на Земле оказалось возможным лишь после образования внешних геосферных оболочек: литосферы, атмосферы, гидросферы (т.е. 4 млрд. лет назад. Следовательно, жизнь возникла не ранее, чем 4-3,7 млрд. лет назад).
- 3) Решающее значение в происхождении жизни имела эволюция групп молекул **РНК**, способных к собственной **репликации** (самовоспроизведению) и синтезу белков. В

первых клетках генетическая информация содержалась в РНК, позднее хранителем информации стала **ДНК**.

- 4) Все биологические функции клеток, в том числе репликация, обмен веществ, передача генетической информации, находят свое естественное объяснение на основе данных наук, в частности биофизики и биохимии.
- 5) В становлении биосферы огромное значение имел переход от **анаэробного** (бескислородного, например некоторые бактерии) к **аэробному** способу фотосинтеза.
- 6) ДНК каждого вида организмов содержит специфическое распределение 4-х азотистых оснований: **аденина** (А), **тимина** (Т), **гуанина** (Г), **цитозина** (Ц). Это открывает простор для огромного разнообразия организмов.

Гипотеза возникновения жизни в результате физико-химических процессов за длительное время (гипотеза **абиогенеза**) была выдвинута российским биохимиком А.И. Опариным (1923). Опарин предположил, что сложные органические соединения возникли в океане из более простых соединений. Разнообразие этих простых соединений в атмосфере и океане, обилие солнечной энергии, действовавшей длительное время, привели к созданию *«первичного бульона»*, в котором стали возникать более сложные органические соединения и конгломераты их в виде так называемых **коацерватных капель**.

Данная гипотеза была проверена экспериментально в 1952 году в опыте С. Миллера, в результате которого (и других последующих экспериментов) была доказана возможность самопроизвольного возникновения органических молекул (в том числе и аминокислот – составляющих белков) из простых неорганических веществ (воды, водорода, аммиака и метана). И хотя в результате данных опытов не были получены простейшие живые организмы, опыты послужили серьезным обоснованием теории биохимической эволюции.

Процесс биохимической эволюции по Опарину можно представить в виде нескольких этапов:

- 1) Переход воды в процессе охлаждения Земли из парообразного состояния в жидкое, образование раздельных атмосферы и гидросферы и последующая их эволюция. При этом шел синтез простейших неорганических соединений.
- 2) Образование из неорганических соединений (H_2 , O_2 , CO_2 , NH_3 и CH) органических и накопление их в первичном океане в результате энергетического воздействия Солнца, электрических разрядов, космического излучения.
- 3) Постепенное усложнение органических соединений и образование белковых структур.
- 4) Выделение белковых структур из среды, образование гидрофильных комплексов и создание вокруг белков водной оболочки. Эти комплексы, согласно терминологии Опарина, и образуют коацерваты, составные части которых (полипептиды, полинуклеотиды) выработали способность обмениваться энергией и веществом с отделенной от них окружающей средой и резко увеличивать скорость биохимических реакций. Это в дальнейшем привело к ускорению темпов в целом всей эволюции живого во времени. Так, от протобионтов до появления аэробов (организмов, существующих в кислородной среде,

«питающихся» кислородом) потребовалось 3 млрд лет, до образования растений и животных ~500 млн лет, птиц, млекопитающих и первых позвоночных — около 100 млн лет, приматов — 12—15 млн лет, человека — 3 млн лет. Здесь свою роль сыграли и многие другие факторы, в частности законы естественного отбора и приспособляемости живых организмов к изменяющимся условиям внешней среды, а на уровне «химии жизни» — появление ферментов и автокаталитических реакций.

- 5) В результате образования гидрофобных липидных границ между коацерватами и внешней средой создание полупроницаемых мембран, обеспечивающих стабильность функционирования коацервата.

Практически до конца 20-го века не было ответа на вопрос «каким образом белковые конгломераты могли самовоспроизводиться с сохранением своих свойств. Теоретический скачок в теории абиогенеза был сделан относительно недавно в процессе стремительного развития биологических наук (см. например, «гипотезу РНК-мира»)

Этапы биохимической эволюции.

1. Синтез низкомолекулярных органических соединений из газов первичной атмосферы;
2. Полимеризация мономеров с образованием цепей белков и нуклеиновых кислот;
3. Образование фазово-обособленных систем органических веществ, отделенных от внешней среды мембранами;
4. Возникновение простейших клеток, обладающих свойствами живого, в том числе репродуктивным аппаратом, гарантирующим передачу дочерним клеткам всех химических и метаболических свойств родительских клеток.

Основные этапы развития живой природы.

1. Появление простейших клеток – прокариотов;
2. Появление высокоорганизованных клеток – эукариотов;
3. Появление многоклеточных организмов на основе объединения клеток-эукариотов; функциональная дифференциация клеток в организмах;
4. Появление высших животных. Формирование у высших животных развитой нервной системы и мозга как объединяющего центра отдельных функций в сложные поведенческие реакции;
5. Появление человека и формирование разума.

С момента возникновения первых простейших живых организмов, можно проследить действие естественного отбора и постепенное развитие жизни на Земле.

Особое значение в процессе развития жизни сыграл так называемый **эффект Пастера** – возрастание O_2 в атмосфере до уровня 0,01 от его концентрации в современной атмосфере. Он означал поворотный момент в эволюции: переход от ферментативного метаболизма к кислородному дыханию. Переход через точку Пастера оказал революционное влияние на эволюцию эукариотических организмов 1 млрд лет назад. Если на ранних этапах развития «преджизни» кислород играл в большей степени отрицательную роль в химических реакциях, то впоследствии организмы, научившиеся использовать кислород для своего обмена веществ получили важные способности получать большие количества энергии, необходимой для развития и усложнения.

Биологическая эволюция (от лат. *evolutio* — «развёртывание») — естественный процесс развития живой природы, сопровождающийся изменением генетического состава популяций, формированием адаптаций, видообразованием и вымиранием видов, преобразованием экосистем и биосферы в целом.

Под биологической эволюцией понимают необратимый, поступательный и закономерный процесс исторического развития живой природы, начиная с момента абиогенного возникновения первых живых организмов на Земле до настоящего времени. В результате биологической эволюции на нашей планете возникло многообразие видов живых организмов и произошло возникновение биосоциального существа — человека.

В данный момент наиболее общепринятой является синтетическая теория эволюции (СТЭ), являющаяся синтезом классического дарвинизма и популяционной генетики. СТЭ позволяет объяснить связь материала эволюции (генетические мутации) и механизма эволюции (естественный отбор). В рамках СТЭ эволюция определяется как процесс изменения частот аллелей генов в популяциях организмов в течение времени, превышающего продолжительность жизни одного поколения.

Несмотря на неоднозначное восприятие в обществе, эволюция как естественный процесс является твёрдо установленным научным фактом, имеет огромное количество доказательств и не вызывает сомнений в научном сообществе. В то же время отдельные аспекты теорий, объясняющих механизмы эволюции, являются предметом научных дискуссий. Открытия в эволюционной биологии оказали огромное влияние не только на традиционные области биологии, но и на другие академические дисциплины, например, антропологию, психологию. Представления об эволюции стали основой современных концепций сельского хозяйства, охраны окружающей среды, широко используются в медицине, биотехнологии и многих других социально значимых областях человеческой деятельности.

Доказательства эволюции — научные данные и концепции, подтверждающие происхождение всех живых существ на Земле от общего предка. Благодаря этим доказательствам основы эволюционного учения получили признание в научном сообществе, а ведущей системой представлений о процессах видообразования стала синтетическая теория эволюции.

Эволюционные процессы наблюдаются как в естественных, так и лабораторных условиях. Известны случаи образования новых видов. Описаны также случаи развития новых свойств посредством случайных мутаций. Факт эволюции на внутривидовом уровне доказан экспериментально, а процессы видообразования непосредственно наблюдались в природе.

Доказательства эволюции можно разбить на несколько групп:

1. **наблюдаемая эволюция** (в частности, эволюция бактерий в лабораторных условиях и развитие устойчивости к пестицидам и антибиотикам);
2. **эволюционное дерево** (практика показывает, что биологические классификации, построенные на основе разных признаков, в тенденции стремятся к одной и той же древовидной иерархической схеме — естественной классификации; именно такой результат можно ожидать при эволюционном развитии всех живых существ от общего предка);
3. **морфологические доказательства** (например, у различных, не близкородственных видов для решения схожих задач используются различные органы. Также, к

морфологическому типу доказательств относится наличие рудиментов (органов, утративших своё основное значение в процессе эволюционного развития организма);

4. **эмбриологические доказательства** (например, всех позвоночных животных наблюдается значительное сходство зародышей на ранних стадиях развития);
5. **молекулярно-генетические и биохимические доказательства** (факт наследственной изменчивости, наличие мутаций ДНК, единая схема реализации наследственной информации у всех живых существ — универсальность генетического кода);
6. **биогеографические доказательства** (Если два вида сравнительно недавно произошли от одной популяции, то они, как правило, обитают недалеко от ареала этой исходной популяции, а значит и недалеко друг от друга. Таким образом, географическое распределение видов должно быть совместимо с филогенетическим деревом.)

Представление об изменчивости окружающего мира, в том числе живых существ, сложилось еще в античном мире. По представлению Эмпедокла, организмы сформировались из первоначального хаоса в процессе случайного соединения отдельных структур, причем неудачные варианты (уроды) погибали, а гармоничные сочетания сохранялись. Что касается Аристотеля, то он не поддерживал в ясной форме идею изменчивости окружающего мира. Хотя такие его мысли, как аналогия соответствующих органов у высших животных, постепенное усложнение строения организмов и т. д. сыграли важную роль в развитии эволюционных представлений.

В XVII–XVIII вв. в биологии и философии получает распространение *трансформизм*: представление об изменчивости видов организмов под воздействием окружающей среды, к которым организмы приспосабливаются благодаря заложенной в них изначально способности целесообразно реагировать на внешние воздействия, а приобретенные этим путем изменения наследуются («наследование приобретенных признаков»)

В начале XIX века появляются первые эволюционные теории. Особое значение для дальнейшего развития эволюционной идеи имела теория Ж.Б. Ламарка, которая была изложена в его книге «Философия зоологии» (1809). Своеобразие концепции Ламарка заключается в объединении идеи изменчивости органического мира (трансформизм) с представлением о *градации* — постепенном повышении уровня организации от самых простых до наиболее сложных и совершенных организмов. Отсюда следовал важный вывод о том, что изменения организмов имеют не случайный, а закономерный характер в направлении по" степенного совершенствования и усложнения организации. Движущей силой градации Ламарк считал «стремление природы к прогрессу», которое заложено Творцом.

Вскрывая механизмы эволюции, Ламарк утверждал, что всем живым организмам свойственна изменчивость, которая проявляется в результате действия разнообразных факторов внешней среды. Наряду с этими рациональными и продуктивными идеями, в теории Ламарка содержались иррациональная идея о «внутреннем стремлении организмов к совершенствованию» и ошибочные утверждения о наследовании приобретенных признаков («изменение органов в результате их упражнения или неупражнения»).

Крупнейшим событием в науке явилось появление научной теории исторического развития живой природы — эволюционной теории Ч. Дарвина (1859). Заслуга Дарвина заключается в том, что ему удалось, определив движущие силы эволюционного процесса, вскрыть его сущность и выстроить убедительную систему доказательств эволюции. Эта система представляет собой результат обобщения огромнейшего фактического материала

не только биологии, но и других естественных и прикладных наук, социологии, демографии.

Естественный отбор — процесс, посредством которого в популяции увеличивается число особей, обладающих максимальной приспособленностью (наиболее благоприятными признаками), в то время как количество особей с неблагоприятными признаками уменьшается. В свете современной синтетической теории эволюции естественный отбор рассматривается как главная причина развития адаптаций, видообразования и происхождения надвидовых таксонов. Естественный отбор — единственная известная причина адаптаций, но не единственная причина эволюции. К числу неадаптивных причин относятся генетический дрейф, поток генов и мутации.

Термин "Естественный отбор" популяризовал Чарльз Дарвин, сравнивая данный процесс с искусственным отбором, современной формой которого является селекция. Идея сравнения искусственного и естественного отбора состоит в том, что в природе так же происходит отбор наиболее «удачных», «лучших» организмов, но в роли «оценщика» полезности свойств в данном случае выступает не человек, а среда обитания. К тому же, материалом как для естественного, так и для искусственного отбора являются небольшие наследственные изменения, которые накапливаются из поколения в поколение.

Частично под воздействием «Опыта закона о народонаселении» Томаса Мальтуса, Дарвин заметил, что прирост населения ведёт к «борьбе за существование», в ходе которой начинают преобладать организмы с благоприятными признаками, поскольку те, у кого их нет, погибают. Этот процесс начинается, если каждое поколение производит больше потомства, чем может выжить, что приводит к борьбе за ограниченные ресурсы. Это могло объяснить происхождение живых существ от общего предка за счёт законов природы. Дарвин развивал свою теорию начиная с 1838 года, пока Альфред Уоллес в 1858 году не прислал ему свою работу с такими же идеями. Статья Уоллеса была опубликована в том же году в одном томе трудов Линнеевского общества вместе с краткой выдержкой из работ Дарвина. Публикация в конце 1859 года книги Дарвина «Происхождение видов», в которой детально объясняется концепция естественного отбора, привела к более широкому распространению дарвиновской концепции эволюции¹.

Основные положения теории естественного отбора Ч. Дарвина.

- 1) Изменчивость свойственна любой группе животных и растений. Организмы отличаются друг от друга во многих отношениях.
- 2) Число организмов каждого вида, рождающихся на свет, больше того их числа, которое может найти пропитание и выжить.

¹ В 1859 году Дарвин опубликовал труд «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь» (On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life), где показал изменчивость видов растений и животных, их естественное происхождение от более ранних видов.

В 1871 году появился ещё один важный труд Дарвина — «Происхождение человека и половой отбор» (The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex), где Дарвин привёл аргументы в пользу естественного происхождения человека от животных (обезьяноподобных предков)

- 3) Поскольку рождается больше особей, чем может выжить, происходит борьба за существование, конкуренция за пищу и места обитания.
- 4) Изменения, облегчающие организму выживание в определенной среде, дают своим обитателям преимущество перед другими организмами, менее приспособленными к внешним условиям. Концепция «выживаемости наиболее приспособленных» - ядро теории естественного отбора.
- 5) Выживающие особи дают потомство, и таким образом «удачные», положительные изменения передаются последующим поколениям.

Следствиями борьбы за существование и естественного отбора являются: **развитие приспособлений видов к условиям их существования** («целесообразность» строения организмов), **дивергенция** (развитие от общего предка нескольких дочерних видов, все большее расхождение их признаков в эволюции) и **прогрессивная эволюция** (усложнение и усовершенствование организмов).

Естественный отбор для черт, которые могут изменяться в некотором диапазоне значений (например, размер организма), можно разделить на три типа:

Направленный отбор (движущий) — изменения среднего значения признака в течение долгого времени, например увеличение размеров тела;

Дизруптивный отбор — отбор на крайние значения признака и против средних значений, например, большие и маленькие размеры тела;

Стабилизирующий отбор — отбор против крайних значений признака, что приводит к уменьшению дисперсии признака.

Частным случаем естественного отбора является половой отбор, субстратом которого является любой признак, который увеличивает успешность спаривания за счёт увеличения привлекательности особи для потенциальных партнёров. Черты, которые эволюционировали за счёт полового отбора, особенно хорошо заметны у самцов некоторых видов животных. Такие признаки, как крупные рога, яркая окраска, с одной стороны могут привлекать хищников и понижать выживаемость самцов, а с другой это уравновешивается репродуктивным успехом самцов с подобными ярко выраженными признаками.

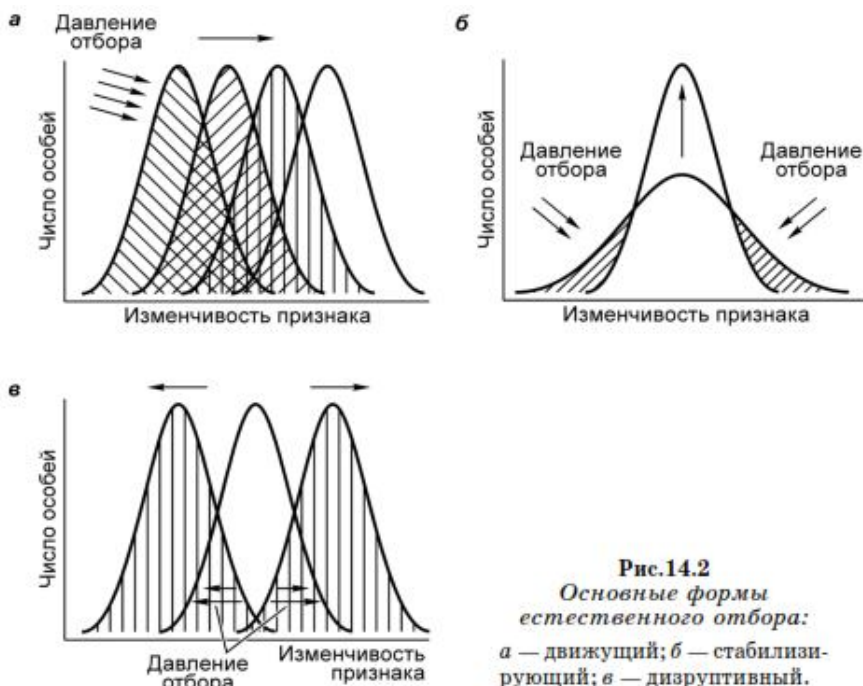
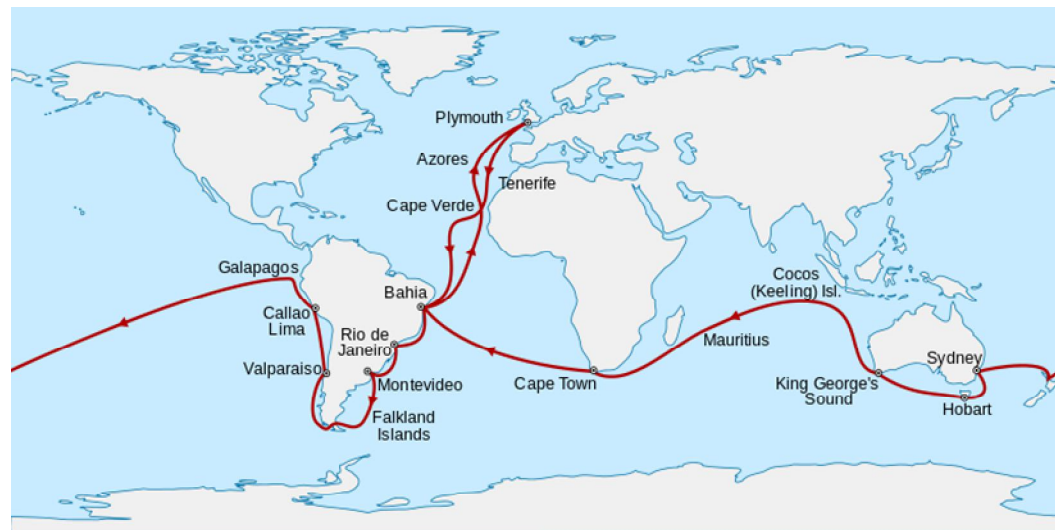


Рис.14.2
Основные формы
естественного отбора:
a — движущий; б — стабилизи-
рующий; в — дизруптивный.

Породы домашних животных и сорта сельскохозяйственных растений созданы посредством искусственного отбора, аналогичного естественному отбору, но ведущегося человеком в своих интересах.

Отбор может действовать на различных уровнях организации, таких как гены, клетки, отдельные организмы, группы организмов и виды. Причём отбор может одновременно действовать на разных уровнях. Отбор на уровнях выше индивидуального, например, групповой отбор, может приводить к кооперации.

Не нужно думать, что к своим идеям Дарвин пришел внезапно и спонтанно. Работе над книгой о происхождении видов (а над ней она работала почти тридцать лет) предшествовало пятилетнее путешествие Чарльза в качестве натуралиста на экспедиционном корабле «Бигль». За время данного кругосветного путешествия и по ее окончании, благодаря множеству находок Чарльз Дарвин становится одним из самых известных геологов того времени.



Вояж корабля «Бигль»

Теория эволюции Ч. Дарвина, охватив важнейшие проблемы биологии и дав им убедительное общее решение, послужила мощным толчком и заложила основы для дальнейшего развития биологии. Идеи эволюционизма распространились далеко за пределы биологии, проникли в другие области естествознания. Развитие дарвиновская теория эволюции получила в *синтетической теории эволюции* (СТЭ), сложившейся к 1940-м гг.

Взяв за основу теорию Дарвина, развив основные дарвинистские представления на базе достижений современных биологических наук и дисциплин (генетика, цитология, экология, молекулярная биология, биология развития и др.), СТЭ устранила некоторые недостатки теории Дарвина, обогатила ее новыми фактами, дополнила некоторыми важными идеями. Центральным ядром СТЭ, по-прежнему (как и у Дарвина), является идея о единстве происхождения и непрерывной эволюции живых организмов, о творческой роли естественного отбора.

Точные механизмы наследственности и появления новых черт оставались неизвестными. С целью объяснения этих механизмов Дарвин развивал «временную теорию пангенезиса». В 1865 году Грегор Мендель открыл законы наследственности, однако его работы оставались практически неизвестными до 1900 года. Август Вейсманн отметил важное различие между зародышевыми (половыми) и соматическими клетками, а также то, что наследственность обусловлена только зародышевой линией клеток. Хуго де Фриз соединил дарвиновскую теорию пангенезиса с вейсманновскими представлениями о половых и соматических клетках и предположил, что пангены расположены в ядре клетки и могут перемещаться в цитоплазму и изменять структуру клетки. Де Фриз был также одним из учёных, которые сделали работу Менделя известной. Он полагал, что менделевские наследственные черты соответствуют передаче наследственных изменений по зародышевому пути. Чтобы объяснить возникновение новых черт, де Фриз развивал теорию мутаций, которая стала одной из причин временного разногласия между зарождающейся генетикой и дарвинизмом. Работы пионеров популяционной генетики, таких как Дж. Б. С. Холдейн, Сьюэл Райт, Рональд Фишер, ставят исследования эволюции на статистическую

основу и, таким образом, устраняют это ложное противопоставление генетики и эволюции путём естественного отбора.

В 1920-х — 30-х годах XX века современный эволюционный синтез соединил естественный отбор, теорию мутаций и менделевское наследование в единую теорию, применимую к любому разделу биологии. Открытая в 1953 году Уотсоном и Криком структура ДНК продемонстрировала материальную основу наследственности. Молекулярная биология улучшила наше понимание взаимосвязи генотипа и фенотипа. Достижения произошли и в филогенетической систематике. Благодаря публикации и использованию филогенетических деревьев появилась возможность изучать и сравнивать изменения признаков в разных филогенетических группах. В 1973 году эволюционный биолог Феодосий Добжанский писал: «Ничто в биологии не имеет смысла кроме как в свете эволюции», потому что эволюция объединила то, что сначала казалось бессвязными фактами, в непротиворечивую систему знаний, объясняющую и предсказывающую различные факты о жизни на Земле.

С тех пор современный синтез был расширен для объяснения биологических явлений на всех уровнях организации живого. Так, в 1960-х годах Мотоо Кимура показал, что подавляющее число мутаций на молекулярном уровне носит нейтральный по отношению к естественному отбору характер, а в 1972 году палеонтологи Нильс Эддридж и Стивен Гулд возродили дискуссию о прерывистом характере эволюционного процесса[30]. В конце XX века эволюционная биология получила импульс от исследований в области индивидуального развития. Открытие hox-генов и более полное понимание генетического регулирования эмбриогенеза помогли установить роль онтогенеза в филогенетическом развитии и сформировали представление об эволюции новых форм на основе прежнего набора структурных генов и сохранения схожих программ развития у филогенетически далёких организмов.

Основные положения СТЭ.

1. Материалом для эволюции служат, как правило, очень мелкие, однако дискретные изменения наследственности — мутации. Мутационная изменчивость поставляет материал для естественного отбора и носит случайный характер.

2. Ведущим движущим фактором эволюции является естественный отбор, основанный на селекции случайных и мелких мутаций. Поэтому иногда теорию отбора называют «селектогенез».

3. Наименьшая эволюционная единица — популяция, а не особь.

4. Эволюция в основном носит дивергентный характер, то есть один вид может стать предком нескольких дочерних видов, но каждый вид имеет единственный предковый вид, единственную предковую популяцию.

5. Эволюция носит постепенный и длительный характер. Видообразование мыслится как поэтапная смена одной временной популяции чредой последующих временных популяций.

6. Вид состоит из множества соподчиненных морфологически, физиологически и генетически отличных, но репродуктивно не изолированных единиц — подвидов, популяций.

7. Обмен генами возможен лишь внутри вида. Если мутация имеет положительную селективную ценность на территории всего ареала вида, то она может распространяться по всем его подвидам и популяциям. Отсюда следует краткое определение вида как генетически целостной и замкнутой системы.

8. Поскольку критерием вида является его репродуктивная обособленность, то естественно, что этот критерий неприменим к формам без полового процесса, например к агамным и партеногенетическим организмам. Таким образом, СТЭ оставила вне видового статуса огромное множество прокариот, не имеющих полового процесса, а также некоторые специализированные формы высших эукариот, вторично утративших половой процесс.

9. Макроэволюция, или эволюция на уровне выше вида, идет лишь путем микроэволюции, под которой понимают видообразование. Согласно СТЭ, не существует закономерностей макроэволюции, отличных от микроэволюционных, хотя есть явления (параллелизм, конвергенция, аналогия, гомология), которые легче исследовать на макроэволюционном уровне.

10. Каждая систематическая единица (вид, род и т. д.) должна иметь единственный корень. Это обязательное условие для самого права на существование рассматриваемой группы. Ведь эволюционная систематика строит свою классификацию, исходя из их родства. А согласно четвертому постулату СТЭ, родственны только те группы, которые идут от одной эволюционной ветви. Если же у вида вдруг обнаруживаются в пределах две разные ветви, его следует разделить.

11. Исходя из всех упомянутых постулатов, ясно, что эволюция непредсказуема: она не направлена к некоей конечной цели.

рекомендуемые источники

1. Кожевников Н.М. Концепции современного естествознания.
2. Марков А. Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня
3. Айзек Азимов. Краткая история биологии. От алхимии до генетики
4. Ричард Докинз. Эгоистичный ген.