

ЛЕКЦИЯ 1. ВВЕДЕНИЕ

1 Теория эволюции – наука об общих закономерностях, факторах и движущих силах исторического развития живой природы

2 Место курса в системе биологических наук

3 Биологические основы возможности осуществления эволюции

4 Старые и новые проблемы эволюционной теории и методы изучения процессов эволюции, ее синтетический характер

1 Теория эволюции – наука об общих закономерностях, факторах и движущих силах исторического развития живой природы

Термин «эволюция» (от лат. *evolutio* – разворачивание, развитие) впервые был предложен в биологии швейцарским натуралистом Ш. Бонне в 1762 г. Эволюцией называется процесс необратимого исторического развития живой природы [32]. Имеются также более развернутые определения данного понятия. Эволюционные изменения, первоначально возникнув как отклонения в генетическом аппарате отдельных особей, захватывают все уровни организации биологических систем. Можно рассматривать эволюцию биосферы и отдельных сообществ, состоящих из растений, животных, грибов, микроорганизмов, эволюцию отдельных систематических групп и частей организмов - органов (например, развитие однопалой конечности лошади), тканей (например, нервной, мышечной), функций (дыхания, пищеварения) и даже отдельных белков (как гемоглобин). Но в строгом смысле слова эволюционировать могут только организмы, совместно образующие популяции отдельных видов. Процесс развития живой природы складывается из изменений как постепенных, так и резких; как быстрых, так и длящихся миллионы лет.

Биологическая эволюция имеет ряд важных особенностей черт. Одной из характерных черт биологической эволюции является прежде всего преемственность. С момента возникновения жизни новое возникает в живой природе не на пустом месте, не из ничего, а из старого. Первых примитивных микроорганизмов, возникших 3,5 – 4 млрд. лет назад, и современных представителей связывает непрерывная цепочка поколений. Вторая особенность эволюции – возникновение в эволюционном процессе целесообразности. Целесообразностью проникнута живая природа. Все организмы, населяющие Землю, приспособлены к услови-

ям, в которых они существуют. Все структуры их тел таковы, что они обеспечивают существование организма и воспроизведение потомства, чтобы продлить еще на одно звено цепочку поколений в будущее. Не менее характерная черта эволюции – усложнение и совершенствование структур организмов от одной геологической эпохи к другой.

Эволюционное учение представляет собой систему эволюционных взглядов, включающую теорию эволюции, различные эволюционные гипотезы, историю эволюционной мысли, методы изучения эволюционного процесса [32]. Эволюционное учение рассматривает общие закономерности и движущие силы исторического развития жизни. *Целью* эволюционного учения является выявление закономерностей развития органического мира для последующего управления этим процессом. Эволюционное учение решает *задачи*, вытекающие из необходимости познания общих закономерностей эволюции, причин и механизмов преобразования живого на всех уровнях его организации.

2 Место курса в системе биологических наук

Эволюционное учение является одним из важнейших разделов общей биологии. Оно объясняет основные особенности и пути развития органического мира, целесообразность строения и приспособленность биологических систем, закономерности их исторического развития, организацию и разнообразие видов в прошлом и настоящем. Эволюционное учение обобщает данные многих наук и представляет собой синтез достижений дарвинизма, ботаники, зоологии, морфофизиологии, молекулярной биологии и генетики, экологии, биогеоценологии и других наук. Это наука об общих законах исторического развития органической природы, методологическая основа всех специальных биологических дисциплин.

Эволюционное учение является теоретической базой биологии, так как объясняет основные особенности, закономерности и пути развития органического мира, позволяет понять причину единства и огромного многообразия органического мира, выяснять исторические связи между разными формами жизни и предвидеть их развитие в будущем. Эволюционное учение обобщает данные многих биологических наук, позволяет понять механизмы и направления изменчивости живой материи. Оно имеет важное значение для практики сельского хозяйства, селекции, медицины, охраны окружающей среды. Именно эволюционное учение дает

возможность понять оптимальную стратегию взаимоотношения человека и окружающей живой природы, позволяет ставить вопрос о разработке принципов управляемой эволюции.

Эволюционное учение, суммируя знания в области биологии, геологии, палеонтологии, географии, антропологии, химии и многих других дисциплин, рассматривает весь комплекс проблем жизни: ее развитие от зарождения до возникновения разума, освоение сред обитания, адаптогенез к изменению внешних условий, возникновение и вымирание видов, изменение жизни в результате как глобального, так и местного масштаба. Проблема развития всегда была ключевой проблемой философии. Она составляет суть диалектического метода. Идеи эволюции, естественного отбора используются, хотя и не всегда корректно, в социологии (социал-дарвинизм) для объяснения общественного развития. Эволюционные идеи успешно использовал Л.Н. Гумилев для анализа этногенеза. Изучение неравновесных химических систем показало возможность их самоорганизации и усложнения, возможность их самоорганизации и усложнения, возможность развития на этой основе сложных органических соединений и возникновения таким путем жизни. Эволюционная теория, сформированная в недрах биологии и дополненная закономерностями развития других систем, явилась фундаментом синергетики, рассматривающей саморазвитие и усложнение любых систем как результат их взаимодействия со средой. Самое непосредственное отношение эволюционная теория имеет и к экологии в ее широком понимании. Можно говорить, что экология – это эволюция, воплощенная в современной действительности. Эволюционная теория не только объясняет прошлое, но и дает методологические основы для предвидения будущего. Без знания основ эволюции невозможна никакая осознанная, эффективная деятельность в области природопользования.

3 Биологические основы возможности осуществления эволюции

Эволюционное учение занимает центральное место в многообразном здании современной биологии, служит теоретической основой развития биологии. Эволюционный подход важен во всех без исключения областях биологии, он является методологической основой биологии в целом. Как отметил выдающийся генетик Ф.Г. Добржанский, «...в биологии все наполняется смыслом лишь тогда, когда истолковывается с эволюционной точки зрения».

Эволюция жизни на Земле – неоспоримый факт. Причины эволюции живого, движущие силы и закономерности эволюции, рассмотрение и анализ этих положений составляет основное содержание современного эволюционного учения.

Человек воздействует на эволюционный процесс разными способами. Знания закономерностей эволюции позволяют человеку применять их к селекционному процессу, а достижения селекции – для понимания эволюции. По существу селекция есть аналог эволюции, и весь арсенал эволюционных положений может быть использован в ней. В селекционной практике в соответствии с эволюционной теорией актуальной является проблема приспособленности сорта к условиям климата, почв. Осмысленное познание эволюционной теории позволяет селекционеру более основательно решать в практической деятельности многие общие и частные селекционные задачи. Это могут быть разрабатываемые разные методы отбора, элементы новой селекционной технологии, их применение. С генетической точки зрения селекция растений, животных, микроорганизмов и процессы эволюции как природных, так и культурных форм, имеют между собой много общего. Для этих процессов необходимы наследственная изменчивость и отбор. Подобно природе и нередко при ее помощи селекционер проводит жесткий отбор в популяциях культурных форм, создавая новые, способные лучше служить его целям (Н.Н. Петрова, 2009). С помощью искусственного отбора, наряду с гибридизацией, человек создал многообразие форм культурных растений и животных и получил высоко продуктивные породы животных и сорта растений. Этот способ применяется для получения ценных штаммов микроорганизмов. Человек оставляет для размножения лучших особей с полезными хозяйственными качествами, изменяет в нужную сторону частоту встречаемости аллелей в размножаемой популяции, изменяя ее структуру. Однако создаваемые человеком породы и сорта не всегда способны к размножению. Дикая банкивская курица несет не более 25, а куры лучших пород несут более 300 яиц в год, но они практически утратили инстинкт насиживания – эту функцию выполняет инкубатор. Зерна кукурузы плотно сидят в початке и закрыты листовыми обертками, поэтому они не могут осыпаться. Естественно, без помощи человека такая кукуруза размножаться не сможет. Некоторые культурные растения не образуют семян и размножаются лишь вегетативно, например, бессемянный банан или растения с махровыми цветами, у которых вме-

сто тычинок развиваются лепестки. Вряд ли любое одомашненное животное или культурное растение может устоять в борьбе за существование с другими организмами.

Человек оказывает влияние на темпы эволюции. Это объясняется тем, что искусственный отбор как главный фактор эволюции культурных форм действует гораздо эффективнее естественного. Часто породы домашних животных, полученные за немногие сотни, а то и десятки лет, отличаются друг от друга значительно более резко, чем виды и даже роды диких животных.

Главная движущая сила эволюции – естественный отбор действует на протяжении десятков и сотен поколений. И, как отмечал Ч. Дарвин, нет предела деятельности этой силы, медленно и прекрасно приспособляющей каждую форму к самым сложным жизненным отношениям. В могучую силу отбора поверили лишь тогда, когда человек стал активно влиять на окружающую среду. Сам того не желая, человек «вывел» насекомых, устойчивых к самым сильным ядам; крыс, перед которыми бессильны все средства; бактерии, на которых не действуют самые эффективные антибиотики. Это произошло на протяжении немногих человеческих поколений. Следует подчеркнуть, что естественный отбор идет по общей приспособленности организма, а не по какому-нибудь признаку. В отличие от него искусственный отбор часто ведется по одному признаку, важному для хозяйства. В результате бывает, что общая приспособленность организма снижается. Например, овцы с необычайно тонкой шерстью, выведенные в конце XIX века, оказались нежизнеспособными – слабыми и восприимчивыми к болезням.

Изменяя и сокращая биоразнообразие естественных биоценозов, экосистем человек влияет на биосферу в целом.

Человечество в настоящем и будущем должно осознанно осуществлять свою деятельность по отношению к биосфере, принимать во внимание и учитывать последствия направленной переделки при вторжении человека в планетарные процессы. На современном этапе, когда деятельность человека имеет важное значение в таких отраслях хозяйств, как сельское, микробиология, промысловое хозяйство, гораздо большее значение приобретает возможность возникновения, формирования, трансформации адаптаций живых организмов. Это может стать причиной нарушения соответствия живых организмов условиям их существования.

4 Старые и новые проблемы эволюционной теории и методы изучения процессов эволюции, ее синтетический характер

Доказательства эволюции тесно перекликаются с методами изучения эволюционного процесса. Главнейшие из методов изучения эволюционного процесса, представляемые биологическими дисциплинами в последовательности, которая отражает проникновение эволюционных идей в эти дисциплины, следующие: палеонтологические, биогеографические, морфологические, эмбриологические и систематические, а также данные генетики, молекулярной биологии, биохимии, физиологии, селекции, экологии, моделирования эволюции, других наук.

Данные палеонтологии для обоснования принципа эволюции.

Все без исключения методы палеонтологии, как науки об ископаемых организмах, рассматриваются как методы изучения эволюционного процесса. Главнейшими палеонтологическими методами изучения и доказательствами эволюции органического мира являются: выявление ископаемых промежуточных (переходных) форм, восстановление филогенетических рядов и обнаружение последовательности ископаемых форм. *Ископаемые переходные формы* – это формы организмов, сочетающие признаки более древних и молодых групп. Яркими представителями переходных форм являются: ископаемая *Ichtyostega*, позволяющая связать рыб с наземными позвоночными; *Archaeopteryx*, показывающая на связь рептилий и птиц; звероподобная рептилия *Lycanops*, которая по ряду основных черт строения и образу жизни имела признаки настоящих рептилий и, в то же время, признаки млекопитающих (дифференцировка зубов, развитие большой зубной кости, вторичного костного нёба и др.). Группа семенных папоротников дала начало голосеменным растениям. Переходных форм между ныне живущими и ископаемыми организмами обнаружено большое число в крупных (типы, классы) и более мелких (отряды, порядки, семейства) таксономических группах животного и растительного мира. Поиски и описание таких форм служат важными методами восстановления филогенеза отдельных групп. *Филогенетические (палеонтологические ряды)* – это ряды ископаемых форм, связанных друг с другом в процессе эволюции и отражающие ход филогенеза. Известно много палеонтологических рядов: лошадей, носорогов, хоботных и др. Так, наличие в эволюции лошадей многих последовательно сменяющих друг друга форм на обширных пространствах ряда конти-

нентов, позволило построить филогенетический ряд с высокой степенью достоверности. На примере анализа этих рядов видна постепенность процесса эволюции, приобретение сменяющимися друг друга ископаемыми формами все большего сходства с современными. Развитие сменяющихся друг друга пучков, или вееров, форм чрезвычайно характерно для отдельных стволов любых групп в процессе эволюции. Ряды ископаемых предков особенно интересно анализировать с эволюционной точки зрения по отношению к современным формам. Доступность для глубокого анализа современного нам звена цепи позволяет лучше понять особенности развития всего эволюционного ряда. При определенных благоприятных условиях в ископаемом состоянии в одном и том же месте сохраняются все вымершие формы группы. Послойный анализ таких отложений дает возможность получить истинную последовательность возникновения и изменения форм в эволюции, установить реальную скорость протекания эволюционного процесса.

В последние десятилетия в изучении ископаемых остатков достигнуты большие успехи. Методы растворения окружающей породы позволяют восстанавливать даже очень тонкое строение вымерших микроскопических организмов. Применение современных палеомагнитных, палеохимических, радиоавтографических и других методов исследования позволяет выяснить особенности прошлых климатов и условий существования, например, соленость и температуру воды, с точностью датировать изучаемые остатки. На этой основе возникает реальная возможность реконструкции экосистем прошлого.

Данные биогеографии для обоснования принципа эволюции.

Биогеография имеет методы, позволяющие проанализировать общий ход эволюционного процесса. В числе биогеографических методов есть следующие: сравнение флор и фаун, островные формы, особенности распространения близких форм, прерывистое распространение, реликты.

Изучение особенностей развития современных континентов Земли в сопоставлении с анализом их населения позволяет судить о масштабах эволюции, связанных с возникновением целых флор и фаун. Например, в конце юрского периода мезозойской эры Южная Америка и Африка (вместе с Мадагаскаром) образовывала монолит. Следы этого бывшего единства сохраняются в современной фауне. Таковы игуаны Южной Америки и Мадагаскара, многочисленные сомовые и харациновидные

рыбы Южной Америки и Африки. В конце мелового периода расположение материков приближается к современному. Имеются примеры сходства и различия населения отдельных территорий, которые получают объяснение с позиций истории территорий планеты. Фауна млекопитающих Северной Африки очень близка к таковой в Северной Азии. Для фауны Северной Америки, как и для фауны Северной Евразии, характерны многие близкие формы (лоси, куницы, норки, белые медведи, сурки, суслики и др.). Это определяется тем обстоятельством, что сравнительно недавно существовал широкий «мост» между отдельными ныне континентами Евразии и Северной Америки – лишь миллион лет назад эти континенты были связаны друг с другом. В то же время имеются глубокие различия в фауне Северной и Южной Америки, несмотря на большую территориальную близость континентов. Своеобразие животного населения этой части планеты объясняется длительной изоляцией континентов. В сходном положении оказывается и Австралия.

Фауна и флора островов оказывается тем более своеобразной, чем глубже и дольше острова изолированы. Так, сравнительно недавно потерявшие связь с материком Британские острова имеют фауну с небольшим числом автохтонных видов (куропатка граус, два вида полевок, ряд улиток, насекомых). Давно обособившийся от африканского материка остров Мадагаскар, наоборот, имеет своеобразную фауну. Детальный анализ островной фауны позволяет восстановить пути эволюции группы близких видов.

Биогеографический анализ распространения близких форм показывает, что с помощью зоогеографических данных можно восстановить возможный ход эволюционного процесса, получить данные о темпах эволюции, выявить центры происхождения групп. Примером могут служить пресноводные сиги рода *Coregonus*, встречающиеся в настоящее время в некоторых реках Англии и Ирландии: исходный прародительский вид современных сигов обитал в огромном пресном водоеме, образованном стекающимися реками. Из-за проникновения в водоем морской воды при понижении суши отдельные реки были изолированы, и на протяжении последующей самостоятельной эволюции группы изолированных сигов преобразовались в три разных вида.

Убедительными эволюционными «документами» служат факты прерывистого распространения организмов. Прежде майский ландыш был широко распространен по лесным умеренным районам Северной

Евразии, но во время наступления ледника сплошной ареал оказался разорванным, майский ландыш сохранился в немногих более теплых местах обитания, и эти отдельные части прежде единого вида стали развиваться самостоятельно.

О флоре и фауне далекого прошлого Земли свидетельствуют реликтовые формы. *Реликты* – это отдельные виды или небольшие группы видов с комплексом признаков, характерных для давно вымерших групп прошлых эпох. Примеры реликтовых форм: гаттерия (единственный представитель целого подкласса рептилий), кистеперая рыба латимерия, сохранившаяся малоизмененной с девона, растение гинкго, ныне распространенное в Китае и Японии как декоративное растение. Изучение реликтовых форм позволяет делать предположение об облике давно исчезнувших групп, их образе жизни, условиях, существовавших миллионы лет назад.

Данные морфологии, эмбриологии, таксономии. Использование морфологических данных основано на принципе глубокого внутреннего сходства организмов. К морфологическим доказательствам эволюции относятся: гомология органов, рудиментарные органы и атавизмы, сравнительно-анатомические ряды. 1) *Гомологичными* называются органы, имеющие общий план строения, развивающиеся из сходных зачатков, находящиеся в сходном соотношении с другими органами и выполняющие как сходные, так и различные функции. Примеры: конечности млекопитающих, различающиеся по внешнему виду и функциям, построены однако из сходных элементов – лопатки, кости плеча, предплечья, запястья, пясти, фаланг пальцев; гомология слуховых косточек среднего уха; у растений перистосложный лист гороха с прилистниками и усиками, чешуйки на корневище и стеблевые чешуи хвоща, колючки барбариса, почечные чешуи представляют собой видоизменения листовой пластинки и являются гомологичными образованиями. Гомологичные органы и структуры показывают на родство, единство происхождения соответствующих организмов. В противоположность явлению гомологии имеется явление *аналогии*. Аналогичные органы лишь внешне сходны, что вызвано, как правило, выполнением сходных функций. *Аналогичными органами* являются колючки акации, барбариса, боярышника, ежевики; глаза наземных позвоночных и головоногих моллюсков. Эти органы показывают на сходные направления приспособления, вызываемые в процессе эволюции действием естественного отбора.

2) В строении любого организма имеются органы или структуры сравнительно недоразвитые и утратившие основное значение в процессе филогенеза, такие органы или структуры называются *рудиментарными*. У представителей китообразных на месте задних поясов конечностей в толще туловищной мускулатуры располагаются от одной до трех небольших косточек - это рудименты тазовых костей, подтверждающие происхождение китообразных от наземных четвероногих предков с развитыми конечностями. У новозеландского нелетающего киви от крыльев остались лишь небольшие выросты – рудименты, свидетельствующие, что у предков киви были настоящие крылья. Орган или структура, показывающие «возврат к предкам», называются *атавизмами*. У человека атавизмами являются хвост, мощный волосяной покров на поверхности тела, многососковость. У лошади вместо грифельных косточек (рудиментарных пальцев) развиваются настоящие боковые пальцы. Рудиментарные органы и атавизмы представляют собой убедительные доказательства процесса эволюции. 3) Эволюционный анализ сравнительно-анатомических рядов как ряд, включающий тапира, носорога, лошади, показывает путь эволюции, приведший к возникновению однопалой конечности лошади. Сравнение современных однопроходных, сумчатых и плацентарных млекопитающих позволяет представить основной путь эволюции зверей – от откладывания яиц (ехидна и утконос) к рождению живых, но очень недоразвитых детенышей (сумчатые) и к соединению организма зародыша с организмом матери (плацентарные). Морфологические методы изучения эволюции основаны на положении – «чем ближе родство, тем больше сходство».

Эмбриология располагает двумя главными методами изучения эволюционного процесса: выявлением зародышевого сходства и изучением рекапитуляции.

В первой половине XIX в. выдающийся эмбриолог К. Бэр сформулировал «закон зародышевого сходства», согласно которому, чем более ранние стадии индивидуального развития исследуются, тем больше сходства обнаруживается между различными организмами. Так, на ранних стадиях развития эмбрионы позвоночных не отличаются друг от друга; на средних стадиях развития в сравниваемом ряду у зародышей появляются особенности, характерные для рыб и амфибий; на более поздних стадиях – особенности рептилий, птиц и млекопитающих. Явление зародышевого сходства показывает на общность происхождения и

единство начальных этапов эволюции сравниваемых форм.

В процессе онтогенеза имеет место повторение (рекапитуляция) многих черт строения предковых форм: на ранних стадиях развития повторяются признаки более отдаленных предков (менее родственных форм), а на поздних стадиях – близких предков (более родственных форм). Имеется много примеров, подтверждающих принцип рекапитуляции. Все многоклеточные организмы проходят в развитии одноклеточную стадию, что указывает на происхождение многоклеточных от одноклеточных. Они также проходят стадию однослойного «шара» – ей соответствует строение некоторых современных простых организмов (как вольвокс). Следующая стадия развития животных – обычно двуслойный мешок, этой стадии онтогенеза соответствует строение современных кишечнополостных (например, гидры). У всех позвоночных животных на определенной стадии развития существует хорда, вероятно, у предков позвоночных хорда существовала всю жизнь. В процессе эволюции позвоночных происходит постепенная утрата ферментов, необходимых для распада мочевой кислоты (конечного продукта обмена пуринов). Концепция рекапитуляции помогает восстановить ход эволюционного развития многих групп и органов.

В качестве основного результата любого обстоятельного исследования таксономии (систематики) любой группы организмов является построение филогенетической системы – системы развития групп. В систематике при классификации организмов, создании их естественной филогенетической системы, применяются данные по переходным формам, внутривидовой структуре. Используются также популяционно-морфологические методы, позволяющие улавливать направления естественного отбора по изменению характера распределения значений признака в популяции на разных стадиях ее существования или при сравнении разных популяций.

Методы изучения эволюционного процесса в настоящее время. Методологически важным для изучения эволюции стало проникновение в эволюционное учение разнообразных генетических методов, применение точного аппарата генетических понятий. Анализ числа и особенностей строения хромосом в группах близких видов позволяет выявлять направления возможной эволюции их генома. Восстановить микрофилогенез близких видов можно при изучении повторных инверсий в определенных хромосомах. Генетические методы позволяют проводить ана-

лиз цитогенетических особенностей организмов, определять генетическую совместимость сравниваемых форм, что является важным для установления родства организмов. Разработка современного эволюционного учения невозможна без использования генетических методов и приемов. Ведущая роль генетики на современном этапе развития эволюционного учения подчеркивается развитием популяционной морфологии, фено- и геогеографии, микросистематики, кариосистематики.

Во второй половине XX в. на передовые рубежи в изучении эволюционного процесса вышли молекулярно-биологические и биохимические методы, возникло новое направление – молекулярная эволюция. Широко применяются для изучения эволюционного процесса методы, которые позволяют выяснять строение нуклеиновых кислот и белков. Молекулярный анализ является одним из главных методов установления филогенетических взаимоотношений разных групп живых организмов. Методом изучения эволюционного процесса на молекулярном уровне служит оценка эволюционных изменений по степени сходства первичной структуры нуклеиновых кислот у разных групп организмов посредством гибридизации ДНК. Специальными методами исследований располагает биохимия. Эти методы позволяют с большой точностью выяснять родство разных групп. В практике микроэволюционных исследований широко используется метод изучения вариаций белков с помощью электрофореза. Он позволяет с большой точностью определять уровень генетической изменчивости в популяциях.

В познании процессов эволюции важную роль играет экология, изучающая условия существования и взаимоотношения между живыми организмами. Данные экологии позволяют уточнить доказательства эволюции из других областей биологии посредством выяснения роли адаптаций. Это определяется тем, что эволюционный процесс является адаптациогенезом – процессом возникновения и развития адаптаций. Эволюционные изменения прослеживаются и на примере взаимоприспособленности видов, которая играет важную роль в создании динамического равновесия и устойчивости экосистем. Исследования экологов на модельных популяциях оказались важными для обоснования протекания естественного отбора.

В последнее время появилась возможность моделировать эволюционный процесс. Моделирование эволюционного процесса позволяет исследовать влияния отдельных факторов на ход эволюции, выяснять воз-

возможные направления и результаты эволюции.

Из других методов изучения эволюции дают хорошие результаты методы сравнительной физиологии. Так, установлено, что по обмену веществ грибы в таксономическом отношении стоят ближе к животным, чем к растениям. Это служит одним из оснований выделять их в самостоятельное царство. Для установления определенных особенностей протекания эволюции применяется изучение поведения животных. Так, некоторые древние черты поведения у птиц и млекопитающих могут использоваться как важные показатели происхождения их от общих предков. При изучении эволюции находят применение и паразитологические методы. Их использование позволило доказать, что эволюция паразитов и хозяев протекает сопряженно. По присутствию паразитов можно судить о филогенетических связях видов – хозяев этих паразитов.

Таким образом, об эволюционном развитии органического мира свидетельствуют многие факты, накопленные разными науками о природе. Палеонтологические, биогеографические, морфологические, эмбриологические, генетические, молекулярно-биологические, экологические, биохимические и другие методы исследования, используемые в совокупности, дают возможность проследить развитие жизни как планетарного явления.