

Лекция ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Первые следы жизни на Земле датируются возрастом примерно 3,6 млрд, или 3600 млн, лет. Таким образом, жизнь возникла вскоре после образования земной коры. Историю развития жизни изучают по данным *геологии и палеонтологии*, поскольку в структуре земной поверхности сохранилось много ископаемых остатков, произведенных живыми организмами. Это осадочные породы, содержащие огромные пласты мела, песчаников и других пород, представляющих донные осадки известковых раковин одноклеточных фораминифер, кораллов, моллюсков, кремниевые скелеты и другие твердые остатки древних организмов.

Например, на современной территории Евразии был когда-то океан, Уральские горы были его срединным хребтом. Поэтому любой естественный разлом, горная осыпь, крутой берег реки или обрыв карьера могут служить источником информации о прошлых жителях Земли. Ценные сведения дают также результаты бурения; например, сверхглубокая скважина на Кольском полуострове прошла уже более 12 км вглубь Земли и в ней также обнаружены окаменевшие остатки организмов. Имеются и надежные методы определения возраста земных пород, в частности радиоуглеродный метод, основанный на измерении содержания радиоактивных изотопов в составе углерода, которое закономерно изменяется во времени. Так что любую находку окаменелых остатков жизни можно датировать по времени ее происхождения.

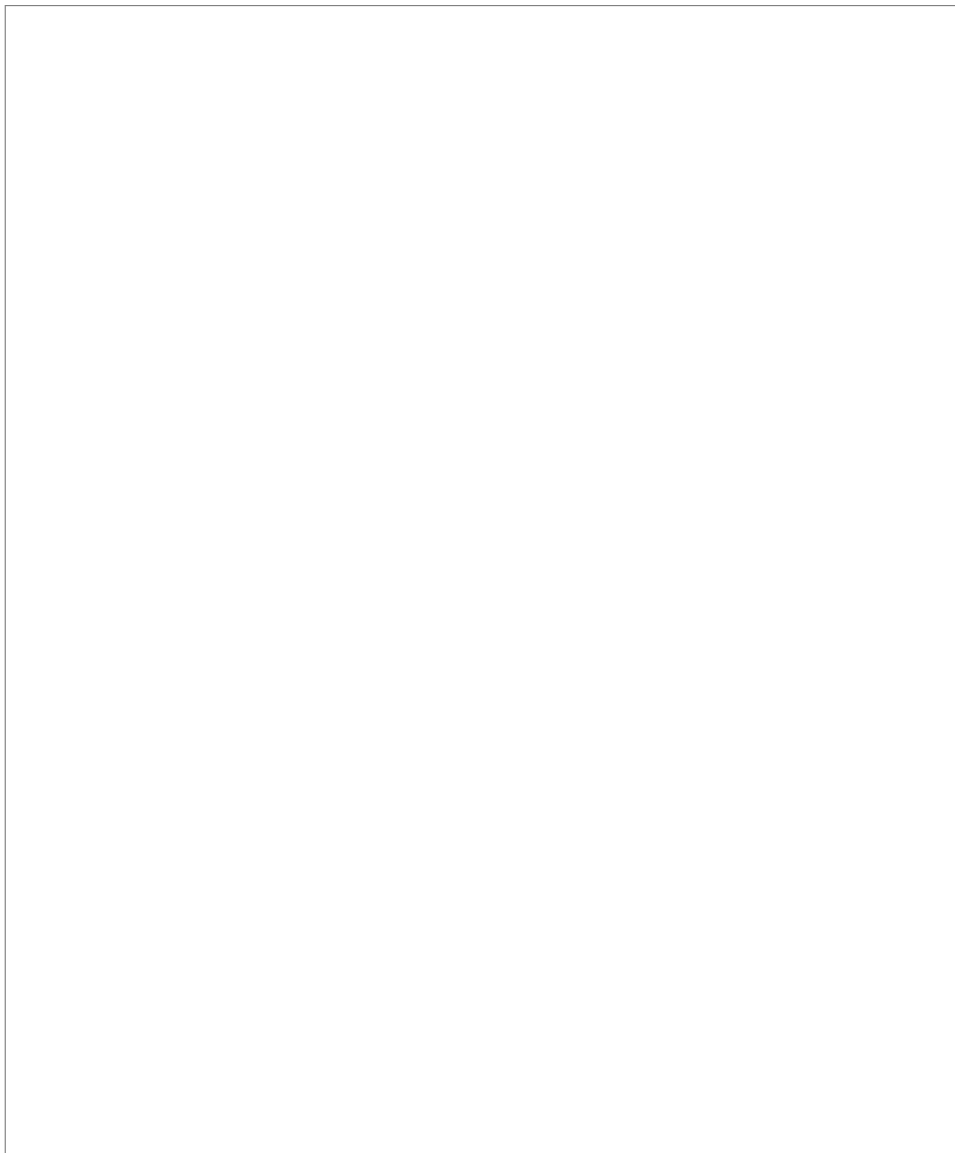
Изменение форм жизни на Земле шло параллельно с геологической перестройкой структуры и рельефа земной коры, состава атмосферы, границ мирового океана и другими геологическими процессами. Эти изменения и обуславливали в решающей степени направление и динамику биологической эволюции (слайд)

В соответствии с наиболее значительными событиями геобиологической эволюции в истории Земли выделяют крупные интервалы

времени – эры, внутри них – периоды, в пределах периодов – эпохи и т. д.

Для наглядности изобразим календарь жизни в виде условного годового цикла, в котором 1 месяц соответствует 300 млн лет реального времени (слайд). Тогда весь период развития жизни на Земле как раз и составит один условный год нашего календаря – от 1 января (3600 млн лет тому назад), когда образовались первые протоклетки, до 31 декабря (0 лет), когда живем мы с вами. Как видим, отсчет геологического времени принято вести в обратном порядке.

Условный календарь развития жизни



Архейская эра (эра древнейшей жизни) от 3600 млн лет до 2600

млн лет, протяженность 1 млрд лет, примерно четверть всей истории жизни (на нашем условном календаре это – январь, февраль, март и несколько дней апреля). 3600 - 3500 млн лет – это время отводят на те события *предбиологической эволюции*, о которой говорилось ранее при обсуждении вопроса возникновения жизни на земле. На самом деле они могли начаться гораздо раньше, как только сформировалась земная кора. 3500-3300 млн лет – *возникновение в водах мирового океана анаэробных гетеротрофных бактерий и сине-зеленых водорослей, формирование сообществ прокариотных (доядерных) одноклеточных организмов*. В атмосфере Земли еще не было кислорода, но в воде были свободные органические вещества, поэтому первые организмы были анаэробами, а питались гетеротрофно – поглощали готовую органику и за счет брожения получали энергию. В гидротермальных источниках, богатых выделениями сероводорода (H_2S), при температурах до 120 градусов могли жить аутотрофные хемосинтетические бактерии. По мере истощения первичных запасов органического вещества возникли аутотрофные фотосинтетические клетки – сине-зеленые водоросли. Аутотрофы, в отличие от гетеротрофов сами создают органические вещества из неорганических с использованием энергии солнца или химических реакций.

3300 млн лет – *выход бактерий и сине-зеленых водорослей на сушу и начало образования почвы*. Почва представляет так называемое биокосное тело или продукт взаимодействия живых организмов с неорганическими соединениями верхнего слоя коры.

3300 - 3000 млн лет – *появление в воде и атмосфере свободного кислорода* от фотосинтетических водорослей и цианобактерий. Идет также накопление углекислого газа при снижении концентрации других газов - аммиака, метана, водорода. Все это создает возможность для развития *аэробных гетеротрофных бактерий*, с гораздо более продуктивным энергетическим обменом, чем у анаэробов.

3000-2700 млн лет – *появление первых эукариотных клеток*, имеющих сложную структуру с настоящим ядром и органоидами. Эти клетки могли появиться в результате симбиотического объединения различных прокариотных клеток или путем постепенного усложнения последних. Во всяком случае, это были значительно более крупные клетки с комбинированным энергетическим обменом, из которых в последствие и развивались основные стволы эволюции – растения, грибы и животные.

2700-2600 млн лет – в конце Архея, вероятно, появились уже и *примитивные многоклеточные организмы* наподобие нитчатых водорослей и гидроидных полипов, которым предшествовали колониальные объединения одноклеточных.

Таким образом, в Архейскую эру возникли про- и эукариотные клетки с разным типом питания и энергетического обеспечения и наметился переход к многоклеточным организмам.

Протерозойская эра (эра ранней жизни) - от 2600 до 570 млн лет – самая протяженная эра, охватывающая около 2 млрд лет, то есть более половины всей истории жизни (на нашем условном календаре это период от апреля до начала ноября). Геологическим маркером начала новой эры стали *интенсивные процессы горообразования*, изменившие соотношение океана и суши, изменившие в целом лик планеты. Многие пионерские группы организмов вымирали, на их смену приходили новые. Но в целом биологические преобразования совершались очень медленно и постепенно. Хотя уже в Архее появились клетки эукариотного типа, тем не менее *первая половина Протерозоя проходила при полном расцвете прокариот - бактерий и сине-зеленых водорослей*. В это время железобактерии мирового океана, осаждались поколение за поколением на дно, формируют огромные залежи осадочных железных руд. Крупнейшие из них до сих пор разрабатываются под Курском и Кривым Рогом. Эукариоты были представлены в основном

водорослями (зелеными, красными, бурыми) преимущественно одноклеточными, наподобие современной хлореллы. Многоклеточные организмы были малочисленны и весьма примитивны.

1500 млн лет – к середине протерозоя наблюдается *расцвет зеленых водорослей*. Их фотосинтетическая активность заметно увеличивает содержания кислорода в воде и атмосфере. Примерно через 200 млн лет *появляются низшие грибы*. Подобно животным они являются гетеротрофами и питаются органической пищей и используют кислород для ее окисления и получения энергии.

1000 млн лет – водоросли господствуют на Земле, *темпы накопления кислорода быстро возрастают*. Этому способствует также завершение окисления железа земной коры, которое до сих пор поглощало основную массу кислорода. В результате начинается *бурное и независимое развитие аэробных простейших (одноклеточных) и многоклеточных животных*. Последняя четверть Протерозоя известна как «век медуз», так как эти и им подобные кишечнополостные животные составляют доминирующую и наиболее прогрессивную на то время форму жизни.

700 млн лет – *прогрессивное развитие животных приобретает взрывной характер*. Особенно бурные события происходили на протяжении 40 млн лет в так называемый Вендский период (690-650 млн лет). В результате быстрых эволюционных изменений закладываются все основные типы животных. Появляются разные типы червей. От кольчатых червей (современные представители – морской пескожил, дождевой червь) ответвляются моллюски и членистоногие, похожие на мокриц, многоножек, ракообразных. К концу протерозоя закладываются морские иглокожие и примитивные хордовые. Жизнь сконцентрирована в морях, донные растения и животные образуют сложные сообщества – биоценозы. В них преобладают многоклеточные: густые заросли придонных водорослей, а среди животных - губки, медузы, актинии, черви.

Моллюски, членистоногие и другие типы высших животных только начинают свою эволюцию, но *общий план будущего биоразнообразия уже заложен*.

Конец Протерозоя ознаменовался и очень важным геологическим событием, которое сильно повлияло на дальнейшую биологическую эволюцию. Около 620 млн лет тому назад часть накопленного в атмосфере кислорода преобразуется из двухатомного состояния O_2 в трехатомное O_3 . Это озон, хорошо поглощающий ультрафиолетовые лучи солнечного света. Таким образом, *сформировался озоновый экран*, уровень солнечной радиации резко упал, снизилась и мутагенность солнечного излучения. Этот фактор обусловил иной характер эволюции на следующие эры.

Дальнейшие новообразования будут многочисленны и разнообразны, но они будут носить все менее радикальный характер, в пределах уже сформированных биологических царств (бактерии, растения, грибы, животные) и типов.

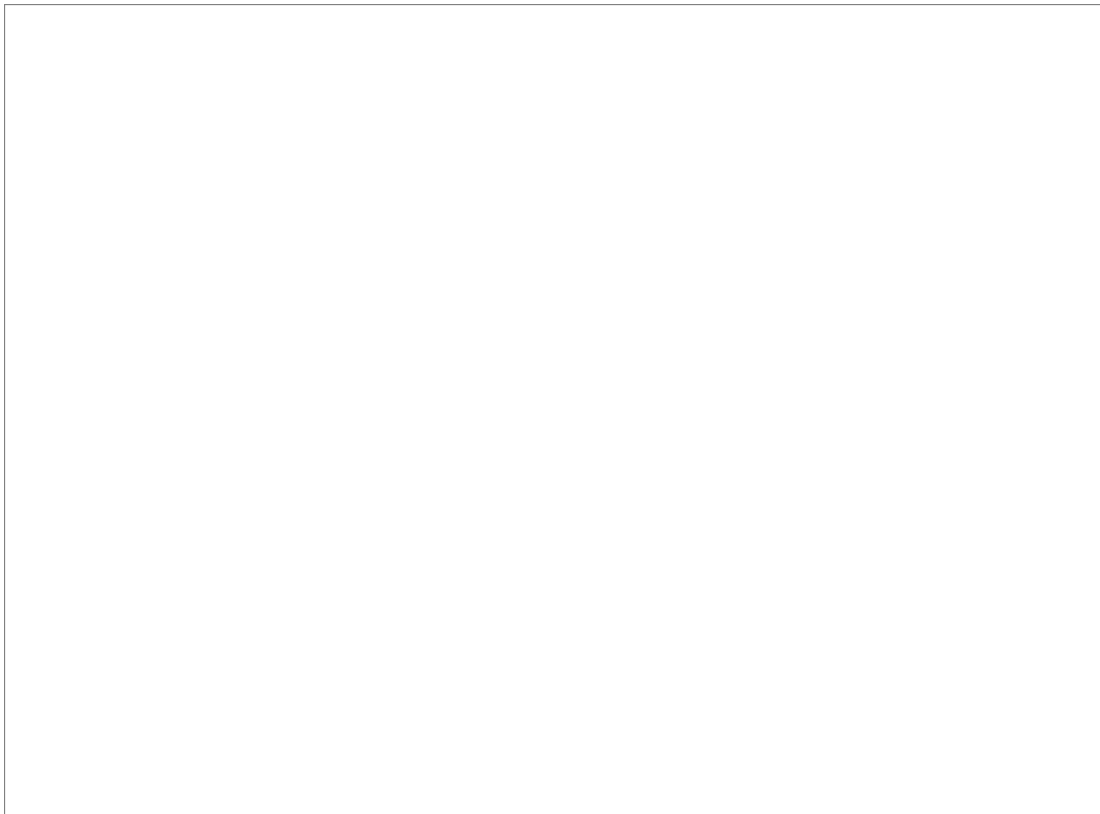
Итак, в течение Протерозойской эры господство прокариот сменилось господством эукариот, произошел радикальный переход от одноклеточности к многоклеточности, сформировались все основные типы животного царства. Но эти сложные формы жизни существовали исключительно в морях. Земная суша медленно покрывалась почвой, в ее сырых низинах селились бактерии, низшие водоросли, простейшие одноклеточные животные, которые по-прежнему прекрасно существовали в своих экологических нишах. Суша еще ждала своих завоевателей. А на нашем историческом календаре уже было начало ноября. До «Нового года» (до наших с вами дней) оставалось меньше двух месяцев, всего 570 млн лет.

Палеозойская эра (эра древней жизни) - от 570 до 230 млн лет — общая протяженность 340 млн лет. *Очередной период интенсивного горообразования*, по которому и проводят разделение Протерозоя и Палеозоя, привел к

изменению рельефа земной поверхности. Посреди бывшего океана встали материки, бывшие участки суши оказались под водой. В этих условиях судьба большинства групп организмов решалась радикальн. *Некоторые группы вымерли, но другие приспосабливались и осваивали новые среды обитания вслед за изменениями земной поверхности и климата.*

Палеозойская эра делится на 6 периодов. Об этом времени имеются богатые палеонтологические данные, так как многие животные в процессе эволюции приобрели наружный или внутренний скелет, а растения – плотные клеточные оболочки, что и позволило им сохраниться в виде ископаемых остатков. Мы сможем дать лишь самую общую характеристику событий этого времени, отметив наиболее значимые новообретения жизни.

Общий ход эволюции, начиная с этого времени, отражен на слайде. Обратите внимание на то, что *большинство групп организмов, зародившихся в прежние эпохи, продолжают сосуществовать с вновь появляющимися молодыми группами, хотя многие сокращают свой объем. Природа расстаётся с теми, кто не соответствует меняющимся условиям, но максимально сохраняет удачные варианты, отбирает и развивает из них наиболее приспособленные и, кроме того, создает новые формы.* **Эволюционное развитие живого мира**



Кембрий - 570 - 500 млн лет. Жизнь по-прежнему связана в основном с морским дном. Процвешают различные водоросли - зеленые, бурые, красные. Но *появляются высшие растения - завоеватели суши*. Их тело разделено на корень и стебель, что позволяет хорошо закрепляться на почве и доставать из нее влагу и минеральные вещества. Внутри стебля возникают сосуды для транспорта веществ. Это *первые сосудистые растения - хвощи и плауны*. Среди морских животных идут процессы видообразования в пределах ранее возникших групп. Заметным событием становится образование коралловых рифов - нагромождения сидячих форм мелких кишечнополостных животных, родственников гидр и медуз, имеющих твердый известковый скелет. Но существуют и подвижные формы это двустворчатые, брюхоногие и головоногие моллюски, черви, примитивные ракообразные.

Ордовик – 500 - 440 млн лет. Сохраняется умеренный теплый климат, но значительно увеличивается площадь морей. Морская фауна и флора бурно эволюционирует в сторону *увеличения разнообразия видов внутри сформированных типов и классов*. Заметное место начинают занимать

иглокожие (морские лилии, голотурии) и хордовые (круглоротые) животные.

Силур – 440 - 410 млн лет - новый период поднятия суши и горообразования. Теплые мелководные моря отступают, климат в целом становится более сухим. В растительном царстве прежнее обилие водорослей, на земле доминируют псилофиты – растения без листьев, внешне похожие на своих морских предшественников. В морях богатая фауна трилобитов (примитивных ракообразных), головоногих моллюсков, кораллов. Появляются панцирные «рыбы» – бесчелюстные хрящевые позвоночные, вымершие уже в следующие периоды. *На сушу выходят первые членистоногие животные* – многоножки, пауки, ракоскорпионы, бескрылые насекомые. В конце силура происходит очередной процесс горообразования.

Девон – 410 - 350 млн лет. Идет новое поднятие суши и сокращение морей. Климат становится более контрастным. На земле *появляются мхи, папоротники, грибы*. Формируются первые леса, состоящие из гигантских папоротников, хвощей и плаунов. В морях наблюдается *расцвет рыб*, особенно хрящевых (акулообразные). Появляются двоякодышащие (с жабрами и легкими), кистеперые и лучеперые рыбы – непосредственные предшественники наземных позвоночных. На суше в леса продвигаются членистоногие с воздушным дыханием – многоножки, насекомые. Наконец, появляются *первые земноводные позвоночные, или амфибии*, среди их ископаемых форм наиболее известны *стегоцефалы*. Первые покорители суши как растительные, так и животные занимали прибрежные области, так как вода оставалась средой их размножения.

Карбон – 350 - 280 млн лет. Наступает потепление и увлажнение климата. Кругом распространены *болотистые леса из громадных (до 40 м) древовидных папоротников, хвощей и плаунов*. К ним добавляются семенные папоротники – это первые голосеменные растения. Именно эти леса оставили нам огромные залежи каменного угля («каменноугольные леса»). Среди

наземных животных кроме разнообразных стегоцефалов появляются крылатые насекомые — это тараканы, стрекозы. В конце карбона идет поднятие суши и похолодание, исчезают псилофиты и появляются *первые пресмыкающиеся животные*, окончательно освободившиеся от водной зависимости.

Пермь – 280 - 230 млн лет. Очередное поднятие суши сопровождалось уменьшением влажности воздуха и похолоданием. Сужается к экватору зона пышных лесов. Вслед за псилофитами вымирают древовидные хвощи, плауны, папоротники. Наступает *расцвет семенных и травянистых папоротников*, *появляются древние голосеменные растения* - предшественники наших хвойных. Из-за сухости климата вымирают и крупные земноводные - стегоцефалы. Зато *быстро прогрессируют пресмыкающиеся и насекомые*, их яйца защищены от высыхания плотными оболочками, кожа покрыта чешуей или хитином, усложняются легкие или трахеи. В двух совершенно не родственных группах происходит параллельная эволюция на сходные признаки.

Общий итог Палеозоя – заселение суши растениями, грибами и животными. При этом и те, и другие, и третьи в процессе своей эволюции усложняются анатомически, приобретают новые структурные и функциональные приспособления для размножения, дыхания, питания, способствующие освоению новой среды обитания. *Эволюция идет по пути морфофизиологического прогресса*. Завершается Палеозой, когда на нашем календаре 7 декабря. Природа торопится, темп эволюции в группах высок, сжимаются сроки преобразований, но на сцену только выходят первые пресмыкающиеся, а время птиц и млекопитающих еще далеко впереди.

Мезозойская эра (эра средней жизни) – от 230 до 67 млн лет – общая протяженность 163 млн лет. Поднятие суши, начавшееся в предыдущем периоде, продолжается. Существует единый материк. Его общая площадь очень велика - значительно больше, чем в настоящее время. Континент покрыт горами, сформированы Урал, Алтай и другие горные массивы. Климат

становится все более засушливым.

Триас – 230 -195 млн лет. Закрепляются тенденции, заложенные в пермском периоде. Вымирает большинство первобытных земноводных, почти исчезают хвощи, плауны, папоротники. Преобладают голосеменные древесные растения, так как их размножение не связано с водной средой. Среди животных на суше начинают свое триумфальное шествие *травоядные и хищные пресмыкающиеся – динозавры*. Среди них есть уже и современные виды: черепахи, крокодилы, гаттерия. В морях по-прежнему живут земноводные, разнообразные головоногие моллюски, появляются костистые рыбы вполне современного вида. Это обилие пищи привлекает в море хищных пресмыкающихся, отделяется их специализированная ветвь – ихтиозавры. В конце триасового периода от каких-то ранних пресмыкающихся *обособилась небольшая группа, давшая начало млекопитающим животным*. Они еще размножаются с помощью яиц, как современные ехидна и утконос, но уже имеют важную особенность, которая даст им преимущества в дальнейшей борьбе за существование. Млекопитающие, как и птицы, ведущие свое начало также от пресмыкающихся, являются теплокровными животными –они впервые приобретают механизм температурной саморегуляции. Но их время еще впереди, а пока земные пространства продолжают осваивать динозавры.

Юра –195 - 137 млн лет. В лесах преобладают голосеменные, среди них живет уже секвойя, дошедшая и до наших дней. Появились первые покрытосеменные (цветковые) растения. *Господствуют гигантские пресмыкающиеся, освоившие все среды обитания*. На суше это травоядные и хищные динозавры, в море – ихтиозавры и плезиозавры, в воздухе – летающие ящеры, охотящиеся на многочисленных насекомых и своих же более мелких собратьев. От каких-то из них *обособились первотпицы - археоптериксы*. Они имели скелет ящеров, хотя и сильно облегченный, но уже были покрыты перьями –видоизмененными кожными чешуями. В теплых морях Юрского периода, кроме морских пресмыкающихся, процветают костистые рыбы и

разнообразные головоногие моллюски – аммониты и белемниты, похожие на современных наутилуса и кальмаров. В Юрском периоде происходит *раскол единого материка и начинается расхождение материковых плит к их современному состоянию*. Это привело к изоляции и относительно независимому развитию фауны и флоры на разных материках и островных системах. Особенно быстро и радикально обособилась Австралия, где животный и растительный состав в итоге сильно отличался от обитателей других материков.

Мел – 137 - 67 млн лет. Руководящей формой в палеонтологических пробах выступают *фораминиферы - раковинные простейшие животные, подвергшиеся массовому вымиранию в этот период и оставившие огромные осадочные пласты мела*. Среди растительности быстро *распространяются и доминируют покрытосеменные*, многие из них вполне современного вида и уже имеют *настоящий цветок*. Гигантские пресмыкающиеся вытесняются *новыми динозаврами*, передвигающимися на задних ногах. Вполне обычны первоптицы, но появляются и *настоящие теплокровные птицы* с характерным клювом, без длинного хвоста. Встречаются и мелкие млекопитающие; *кроме сумчатых появились и плацентарные*, длительно вынашивающие детенышей в материнской утробе в контакте с кровью через плаценту. *Насекомые осваивают цветок*, что принесло выгоду и насекомым и цветковым растениям. *Конец мелового периода был ознаменован значительным общим похолоданием*.

Сложная пищевая цепь пресмыкающихся, построенная на ограниченном круге продуцентов, рухнула «в одночасье» (по меркам нашего условного календаря). *За какие-то несколько миллионов лет основные группы динозавров вымерли*. Есть разные версии причин происшедшего в конце мелового периода, но, *по-видимому, дело прежде всего в изменении климата и разрушении пищевых цепей*. В похолодевших морях исчезли крупные головоногие моллюски - основная пища морских ящеров. Естественно, это привело к вымиранию последних. На суше происходило сокращение зоны

произрастания и биомассы мягкой сочной растительности, что привело к вымиранию растительноядных, а за ними и хищных динозавров. Сократилась кормовая база и для крупных насекомых, а за ними стали исчезать летающие ящеры - как насекомоядные, так и их хищные собратья. Надо иметь в виду и то обстоятельство, что *пресмыкающиеся были холоднокровными животными и оказались не приспособленными к существованию в новом, значительно более суровом климате.* В этой всемирной биологической катастрофе выжили и получили дальнейшее развитие мелкие пресмыкающиеся - ящерицы, змеи; а крупные - такие как крокодилы, черепахи, гаттерия - сохранились лишь в тропиках, где остались необходимая кормовая база и относительно теплый климат.

Таким образом, мезозойская эра полноправно называется эрой пресмыкающихся. За 160 млн лет они пережили свой расцвет, широчайшую дивергенцию по всем средам обитания и вымерли в борьбе с неизбежной стихией. На фоне этих событий огромные преимущества получили теплокровные организмы - млекопитающие и птицы, перешедшие к освоению освобожденных экологических сфер. Но это уже была новая эра. До «Нового года» оставалось 7 дней.


Кайнозойская эра (эра новой жизни) – от 67 млн лет до настоящего времени. Это эра цветковых растений, насекомых, птиц и млекопитающих. В эту эру появился и человек.

Третичный период делится на палеоген (67 - 25 млн лет) и неоген (25 - 1,5 млн лет). Отмечается широкое распространение цветковых растений, особенно травянистых. Формируются обширные степи – результат отступления тропических лесов из-за похолодания. Среди животных доминируют млекопитающие, птицы, насекомые. Продолжают исчезать отдельные группы пресмыкающихся и головоногих моллюсков. Около 35 млн лет назад в классе млекопитающих появляется отряд приматов (лемуры,

долгопята), давший в последствие обезьян и человека. Первые люди появились около 3 млн лет тому назад (за 7 часов до «Нового года») в восточном средиземноморье.

Четвертичный период, или *антропоген* включает последние 1,5 млн лет развития жизни. Сформирован современный растительный и животный мир. *Идет бурная эволюция и господство человека*. Происходит четыре периодических оледенения северного полушария Земли. За это время вымерли мамонты, многие крупные звери, копытные животные. Большую роль в этом сыграли люди, которые активно занимались охотой и земледелием. Периодические замерзания и таяния воды изменяли уровень морей, то наводя, то разрушая мосты между Азией и Северной Америкой, Европой и Британией, Индокитаем и Островами. Эти обстоятельства позволяли мигрировать животным и растениям, поддерживая их эволюционные изменения по мелким адаптивным признакам. Австралия имеет полную изолированность от других материков, что создало там особые направления и темпы эволюции. Отсутствие хищников позволило сохраниться древним сумчатым и яйцекладущим млекопитающим, давно вымершим на других континентах. Происходили изменения и в семействе людей, но о них мы расскажем в отдельной теме. Человек современного типа сформировался всего лишь 50 тысяч лет назад (в 23 часа 53 минуты 31 декабря нашего условного года развития жизни на Земле; мы существуем в этом году всего-то его последние 7 минут!). Как итоговое отражение эволюции с взлетами одних групп и крушениями других выступает ***современная картина биоразнообразия***.

СЛАЙД Схема современного биоразнообразия на Земле



Еще раз обратим внимание на то, что древние группы организмов – дробянки (бактерии и сине-зеленые водоросли), водоросли, одноклеточные (простейшие) животные не исчезли с биологического поля. Конечно, многие их представители, и даже целые большие группы, вымерли и уступили место другим. Но в целом эволюция не теряла заложенные когда-то планы строения животных и растений. В каждой крупной группе (ранга царства или типа), как правило, возникали новые вариации, которые занимали свои экологические ниши. Поэтому мы и имеем на сегодня столь широкий спектр биоразнообразия от бактерий и вирусов до цветковых растений, насекомых и млекопитающих.

Последнее замечание - *о движущих силах биологической эволюции. Их надо видеть в двух взаимосвязанных плоскостях - геологической и собственно биологической.* Каждая очередная крупномасштабная перестройка земной поверхности влекла за собой неизбежные эволюционные преобразования в живом мире. Каждое новое похолодание приводило к вымиранию неприспособленных. Дрейф материков определил различие темпов и направлений эволюции в изолятах. С другой стороны, прогрессивное развитие и размножение групп растений и животных сказывалось и на самой геологической эволюции. Вспомним, как накопление кислорода в конце Протерозоя привело к образованию озонового экрана, что оградило живые организмы от солнечной радиации и изменило уровень эволюционных преобразований. Многие продукты жизнедеятельности организмов оставались навсегда в земных недрах, преобразуя их необратимо. Это и органогенные железные руды, и залежи серы, мела, каменного угля и многое другое. Живое, порожденное из неживой материи, эволюционирует вместе с ней, в едином биогеохимическом потоке вещества и энергии. Что же касается внутренней сущности и непосредственных факторов биологической эволюции, мы рассмотрим их далее.