

ОПИСАНИЕ ЗАНЯТИЯ

Название: Раскрути спираль эволюции

Автор: Глизнуца Л.А., старший специалист отдела экологического просвещения Приморского океанариума.

Учебный предмет: Биология

Целевая аудитория: 9–11 классы

Продолжительность: 1 час 30 мин

Место проведения: экспозиция «Эволюция жизни в океане»

Используемые материалы: Планшеты, пишущие принадлежности, листы с заданиями, листы рефлексии.

Аннотация. Во время занятия учащиеся актуализируют знания по теме «Эволюция органического мира на Земле». Они «раскручивают» спираль эволюции и отвечают на проблемные вопросы: «Можно ли развернуть направление спирали эволюции? Есть ли у эволюции обратный ход?».

С помощью палеонтологической коллекции, экспонатов, интерактивных стендов экспозиции учащиеся:

- **систематизируют знания о геохронологии** эволюционного процесса на Земле,
- **закрепляют знания о ключевых эволюционных событиях** в истории Земли (кембрийский взрыв, выход растений и животных на сушу, расцвет и вымирание динозавров и др.),
- **изучают особенности живых организмов** основных геологических эпох и периодов,
- **углубляют знания** о главных направлениях и закономерностях эволюции (ароморфоз, идиоадаптация, конвергенция)
- **изучают на конкретных живых примерах** «живых ископаемых» и восстанавливают филогенетический ряд китообразных, используя экспонаты экспозиции.

В процессе занятия учащиеся участвуют в организованной педагогом экскурсии с элементами поисковой деятельности, в ходе которой учащиеся заполняют геохронологическую таблицу, работают со словарем основных эволюционных терминов и выполняют задания. Совместная работа с педагогом чередуется с

самостоятельной работой. На занятии делается акцент на эволюцию морских беспозвоночных животных, рептилий и млекопитающих.

Рекомендации учителю.

1. Занятие рекомендуется для проведения урока по предмету «Биология. Введение в общую биологию», по темам:

9 класс - тема «Эволюция органического мира на Земле»;

10-11 класс - тема «Основы учения об эволюции».
2. Рекомендуется предложить учащимся повторить материал по вышеназванным темам, основные направления и закономерности эволюции (ароморфоз, идиоадаптация, конвергенция), а также понятия «живое ископаемое», «филогенетический ряд».
3. Обеспечить класс пишущими принадлежностями.

ПЛАН ЗАНЯТИЯ

Проблемный вопрос, который ставится перед учащимися на уроке:

«Можно ли развернуть направление спирали эволюции? Есть ли у эволюции обратный ход?»

Цели занятия

Образовательные:

1. Расширение знаний учащихся о биологической эволюции на Земле, её направлениях и основных событиях.
2. Формирование представлений об эволюции как неотъемлемом свойстве живой материи и источнике биоразнообразия на Земле; о направленном характере эволюции и её необратимости.
3. Развитие познавательного интереса к естественным наукам.

Деятельностная:

Формирование навыков работы с различными источниками информации в области биологической эволюции, самостоятельного поиска информации в экспозиции «Эволюция жизни в океане».

Задачи:

1. Используя информационные источники и экспонаты экспозиции, познакомить учащихся с геохронологией эволюционного процесса и основными живыми организмами, характеризующими геологические эпохи и периоды.
2. На конкретных примерах экспозиции рассмотреть основные направления и закономерности эволюции: ароморфоз, идиоадаптацию, конвергенцию, закрепить понятия: «живое ископаемое», филогенетический ряд.
3. Организовать самостоятельную поисковую деятельность учащихся по изучению палеонтологических коллекций, экспонатов и интерактивных стендов экспозиции.

Планируемые образовательные результаты

Предметные: учащиеся будут знать геохронологию, ключевые события эволюционного процесса и основных представителей эр и периодов, а также основные понятия эволюционной биологии: идиоадаптация, ароморфоз, конвергенция, «живое ископаемое», филогенетический ряд; рассматривать эволюцию как направленный необратимый процесс, в результате которого возникло все разнообразие жизни на Земле.

Метапредметные: учащиеся будут уметь самостоятельно работать с разными источниками информации: палеонтологической коллекцией, интерактивными стендами, словарем терминов; осуществлять поисковую деятельность; извлекать

нужную информацию и структурировать ее; переводить информацию из вербальной в форму логической схемы, таблицы.

Личностные: у учащихся будут заложены основы естественно-научной картины мира, сформирован интерес к естественным наукам и самообразованию.

Ход занятия

1. Организационный момент (холл), 5 мин.

Педагог океанариума проводит инструктаж о правилах поведения в экспозиции, выдает учащимся дидактические материалы к занятию.

2. Этап мотивации и актуализации (холл или площадка перед эскалатором), 5 мин.

Педагог океанариума организывает беседу со школьниками с опорой на имеющиеся знания по эволюции, формулирует тему занятия и главный проблемный вопрос, на который учащимся предстоит ответить: «Можно ли развернуть направление спирали эволюции? Есть ли у эволюции обратный ход?». Педагог обращает внимание учащихся на спираль эволюции (первая страница дидактического материала), которую в процессе занятия им предстоит «раскрутить». Далее педагог знакомит школьников со структурой дидактического материала, включающего геохронологическую таблицу, словарь терминов, задания с вопросами; инструктирует, как заполнять геохронологическую таблицу, выполнять задания (эта информация есть на первой странице комплекта дидактических материалов).

3. Этап изучения нового материала или «Погружение в прошлое». (эскалатор и «тоннель времени»), 3 мин.

Педагог океанариума организывает беседу для повторения основных событий, предшествовавших возникновению жизни на Земле: большой взрыв и рождение Вселенной (13,7 млрд. лет), появление Солнечной системы и планеты Земля (4,6-4,5 млрд. лет), зарождение жизни в океане (3,5 млн. лет).

Остановка 1. Зарождение жизни (фильм «Зарождение жизни на Земле»), (6 мин.).

Организация просмотра фильма для самостоятельного выполнения первого учебного задания. Учащиеся соотносят событие в истории Земли и его временной промежуток. Далее, у барельефа «Спираль эволюции», учащиеся совместно с педагогом кратко анализируют основные этапы эволюции жизни (каждый виток – геологическая эпоха, которой предшествует глобальное вымирание). Рассматриваются периоды: Эдиакарий, Кембрий, Девон, Карбон и эры: Мезозой, Кайнозой. Педагог акцентирует внимание на особенностях антропогенного периода (начался 2,5 млн. лет назад и продолжается сейчас), когда появился человек современного типа.

Остановка 2. События Эдиакария-Кембрия (залы палеонтологии – Эдиакария-Кембрия), (10 мин.).

Самостоятельная работа учащихся: учащиеся вносят в геохронологическую таблицу названия основных представителей животного мира Эдиакария и Кембрия, изучают особенности строения крупного кембрийского хищника (**аномалокарис**).

Предварительно педагог проводит беседу с учащимися: какая наука изучает свидетельства древней жизни и события прошлых геологических эпох (палеонтология). Акцентируется внимание на том, что в Эдиакарии не было хищников, и взаимоотношения «хищник-жертва» впервые появляются в Кембрии. Обсуждаются предпосылки и причины «кембрийского взрыва», период, в котором за короткий исторический промежуток появились все современные типы многоклеточных организмов.

Далее организуется самостоятельная поисковая работа. Для этого учащиеся разбиваются на 2 группы: 1-я группа изучает палеонтологическую коллекцию и представителей эдиакарской фауны, 2-я – в зале Кембрия изучает информацию стендов и интерактивного экрана (рядом с макетом ракоскорпиона), затем группы меняются.

Остановка 3. События Ордовика-Силура-Девона (коридор Ордовика-Силура-Девона), (5 мин).

Педагог знакомит учащихся с основными событиями Ордовика и Силура, типичными представителями фауны: **ракоскорпион** – один из наиболее крупных представителей членистоногих в истории Земли и головоногий моллюск **камероцерас** – один из наиболее грозных хищников Ордовика, вероятный родственник аммонитов и наutilusов. Используя информацию стендов и аквариумов (при наличии в них на период изучения указанных животных), учащиеся рассматривают архаичные признаки «живых ископаемых» - мечехвоста и наutilusа. Далее учащиеся знакомятся с эволюцией рыб, которые появились в Силуре и занимали господствующее положение в Девоне; изучают и отмечают в таблице крупного хищника Девона - **дунклеостея**, гигантскую пластинокожую или панцирную рыбу с крупными костными выростами на челюстях вместо зубов.

Остановка 4. События Девона (рядом с экраном, на котором демонстрируется фильм о Девоне), (5 мин.).

Педагог кратко характеризует события Девона – «век рыб», период интенсивной эволюции и появления основных групп рыб (лопастеперые, костистые, хрящевые). Обсуждается эволюционный прогресс акул, которые появились более 420 млн лет назад и сохранили до наших дней основные черты строения; отмечает, что современные семейства акул возникли гораздо позже Девона, в Юрском периоде). Педагог подводит итог, что природа создала хищных акул как «универсальное орудие убийства», и они не претерпели значительных изменений в строении за миллионы

лет. Учащиеся фиксируют информацию в геохронологической таблице, рассматривают древнюю акулу – кладоселахию, чтобы затем сравнить ее с современной зебровидной бычьей акулой.

Перед стендом о выходе растений на сушу педагог знакомит с информацией, что заселять сушу первые водоросли начали еще в Ордовике, и в процессе эволюции они дали начало первым высшим растениям – мхам; в Силуре на суше возникли риниофиты – одни из первых сосудистых растений; ученые полагают, подобные риниофитам растения в ходе эволюции дали все многообразие современной флоры. Учащиеся вносят ключевые события эволюции в геохронологическую таблицу.

Остановка 5. События Карбона (зал Карбона), (5 мин.).

Учащиеся знакомятся с еще одним «живым ископаемым» - кистеперой рыбой латимерией и выполняют задание №3 – отмечают в таблице «живых ископаемых», которые были встречены в ходе урока (кроме гаттерии). Перед диорамой «Выход четвероногих животных на сушу» организуется беседа, в ходе которой учащиеся вспоминают ароморфозы (обращаются, при необходимости, к словарю терминов), позволившие предкам амфибий выйти на сушу и выполняют задание №4; затем вспоминают ароморфозы, позволившие рептилиям расселиться в глубь материков. Педагог знакомит учащихся с тиктааликом – «рыбой с подвижной головой», которая является переходной формой между рыбами и амфибиями, и первыми амфибиями – ихтиостегой и акантостегой. Учащиеся отмечают в графе «Девон» геохронологической таблицы – появление амфибий (тиктаалик), в графе «Карбон» - расцвет амфибий, расцвет наземных растений, появление рептилий.

Остановка 6. Знакомство с двоякодышащими рыбами (танк с рыбами, способными дышать атмосферным кислородом), (3 мин.).

Педагог организывает знакомство с современными рыбами с двойным дыханием: индийский нож, панцирная щука, протоптер; сообщает информацию о том, что способность дышать атмосферным кислородом в процессе эволюции появляется у некоторых рыб, в том числе и современных, в ответ на недостаток растворенного кислорода в заиленных теплых водах и не является уникальным событием. Педагог обращает внимание, что из изучаемых рыб только протоптер относится к древним лопастеперым двоякодышащим рыбам, которые имеют 2 легочных пузыря (выросты пищевода) и являются родственниками наземных четвероногих.

Остановка 7. Глобальное Пермское вымирание (перед экспонатом «Мозазавр»), (3 мин.).

Педагог знакомит учащихся с информацией: в ходе эволюции периодически происходили вымирания животных и растений из-за изменений климата, приводивших к экологическим катастрофам; выделяют пять крупных вымираний, среди них – Глобальное Пермское вымирание, которое произошло на границе

палеозоя и мезозоя – в этот период гибнет 95% сухопутных и 70% морских видов – трилобиты, многие виды акул и др.; новая, мезозойская эра, ознаменовалась теплым климатом, что позволило многим группам животных размножиться и процветать, самыми многочисленными и успешными из четвероногих были рептилии, поэтому мезозой называют «эрой динозавров и ящеров», так как они заняли самые выгодные экологические ниши и господствовали на планете на протяжении почти 190 млн. лет. Учащиеся вносят краткую информацию в таблицу, отмечают в графе «Мезозой» расцвет рептилий, появление первых млекопитающих и птиц.

Остановка 8. Изучение динозавров и ящеров Мезозоя (зал Мезозоя), (15 мин.).

Организация самостоятельной работы учащихся. Учащиеся разбиваются на 2 группы и выполняют задание №5. Первая группа изучает особенности строения гигантских морских ящеров (ихтиозавров, мозазавров и плезиозавров) и заполняет таблицу, пользуясь информацией стендов в зале; вторая группа изучает интерактивный стенд «Палеонтологические раскопки на территории России» (рядом с муляжом черепахи Архелона) и вносит в таблицу названия сухопутных динозавров, в том числе тех, которые обитали на территории, относящейся сейчас к дальневосточному региону (амурозавр, ниппонозавр).

После самостоятельной работы учащиеся подводят итоги в 3D-кинотеатре Мелового периода. Учащиеся приводят примеры морских и сухопутных гигантских рептилий (задание №5), рассматривают идиоадаптации морских ящеров к водной среде (задание №6), обсуждают причины господства рептилий в мезозое (благоприятные климатические условия, обилие пищи), причины вымирания динозавров (млекопитающие поедали яйца и детенышей динозавров, похолодание климата, планетарная экологическая катастрофа в результате падения метеорита (задание №7).

Остановка 9. Морские ящеры Мезозоя (3D-кинотеатр Мелового периода и фильм «Падение метеорита»), (10 мин.).

Организация короткого перерыва для отдыха учащихся (просмотр коротких видеосюжетов).

Педагог организовывает просмотр фильмов «Морские ящеры Мелового периода» и «Падение метеорита» и комментирует происходящее на экране.

4. Этап закрепления и применения знаний и умений (зал «Древние млекопитающие. Возвращение в море»), (10 мин.).

Педагог подводит итоги: Мезозой заканчивается вымиранием динозавров, аммонитов, морских ящеров и др. и наступает Кайнозой – «эра млекопитающих». В геохронологической таблице в графе «Кайнозой» учащиеся отмечают биологический прогресс млекопитающих, освоение ими всех экологических ниш, прежде занятых рептилиями, в том числе, в морях.

Организация самостоятельной работы.

Педагог организует самостоятельную работу учащихся. Учащиеся повторяют значение терминов «филогенетический ряд», «конвергенция»; используя информацию на стендах и экспонаты экспозиции, выполняют задание №8 – «восстанавливают» филогенетический ряд китообразных; находят признаки конвергентного сходства морских млекопитающих, морских рептилий и акул (задание №9); отвечают на вопрос: Кто из современных наземных животных является наиболее близким родственником китообразных (гиппопотам)?

5. *Этап подведения итогов* (холл на выходе из экспозиции «Микромир», напротив стеклянной спирали), (5 мин.).

Педагог организует подведение итогов занятия.

Учащиеся отвечают на следующие вопросы:

- Можно ли направить филогенетический ряд китообразных в обратную сторону: от кита к индохиусу? Почему? (нельзя).
- Могут ли китообразные выйти опять на сушу? (могут, но приобрести признаки индохиуса уже не смогут).
- Возвращаясь в море, рептилии и млекопитающие становились рыбами? (нет).
- Какой процесс может объяснить внешнее сходство акул, ихтиозавров и дельфинов? (конвергенция).

Таким образом, учащиеся возвращаются к главному проблемному вопросу занятия: «Можно ли развернуть направление спирали эволюции? Есть ли у эволюции обратный ход?» Делают вывод: **Эволюция носит направленный характер и необратима.**

Педагог организует закрепление информации о геохронологии эволюционного процесса:

Учащиеся возвращаются к первой странице дидактического материала (спираль эволюции) и вместе с педагогом **повторяют ключевые эволюционные события** в истории Земли: появление мягкотелых многоклеточных животных (Эдиакарий), «кембрийский взрыв» биоразнообразия (Кембрий), выход растений и позвоночных животных на сушу (Силур и Девон), расцвет и вымирание динозавров (Мезозой) и расцвет млекопитающих (Кайнозой), появление человека современного типа (2,5 млн. лет, Антропогенный период).

В конце занятия педагог акцентирует внимание учащихся, что в дидактических материалах есть ссылка на интернет-ресурс: <http://childrengscience.ru/> для тех, кого заинтересовала тема занятия и кто хочет узнать больше об эволюции нашей планеты.

После подведения итогов учащиеся заполняют рефлексивные листы и сдают их педагогу.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К занятию «Раскрути спираль эволюции».

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Основные направления эволюции – *биологический прогресс* и *биологический регресс*, пути их осуществления – *ароморфоз*, *идиоадаптация* и *дегенерация* (А.Н. Северцов, И.И. Шмальгаузен).

Биологический прогресс характеризуется возрастанием приспособленности организмов к окружающей среде, увеличением численности особей, расширением ареала, образованием новых популяций и подвидов.

Биологический регресс - это снижение уровня приспособленности к условиям обитания, численности особей, а также уменьшение ареала обитания и числа популяций.



Рис. 92. Схема соотношений между ароморфозом, идиоадаптацией и дегенерацией

Ароморфоз – эволюционные морфо-физиологические изменения, повышающие общий уровень организации и жизнеспособности (выход растений на сушу, теплокровность и т.п.). Ароморфозы приводили к образованию новых систематических групп (типов, классов) – процесс, обозначаемый термином *макроэволюция*.

Название класса	Ароморфозы
Рыбы	• тело рыб покрыто чешуей, которая выполняет защитную функцию; • дополнение или замена осевого скелета (хорды) хрящевым, а затем костным позвоночником; • появление черепа, защищающего мозг со всех сторон; • хорошо развитые подвижные челюсти, снабженные зубами, служащие для захвата и удержания добычи; • появление парных конечностей (грудных и брюшных плавников) и их поясов; • сердце двухкамерное, один круг кровообращения; • более дифференцированный пищеварительный тракт, у большинства видов обособляется желудок, имеются тонкий и толстый отделы кишечника; • дифференцировка пищеварительных желез на специализированные структуры – печень и поджелудочную железу; • органы дыхания – жабры; появление жабр значительно

	интенсифицировало процесс газообмена; • выделительная система представлена обособленным специализированным органом – парными первичными (туловищными) почками; • парные обонятельные органы; орган слуха – внутреннее ухо с тремя полукружными каналами; хорошо развитые органы зрения; • прогрессивное развитие нервной системы – увеличение среднего отдела мозга и мозжечка.
Земноводные	• формирование пятипалой конечности рычажного типа, которая позволяет передвигаться по твердому субстрату; • потеря жаберного дыхания – легкие, расположенные в полости тела; • в связи с появлением легочного дыхания – возникновение второго круга кровообращения, сердце трехкамерное; • прогрессивное развитие нервной системы и совершенствование органов чувств, что позволило эффективно приспособиться к новым наземным условиям существования
Пресмыкающиеся	• появление зародышевых оболочек, обеспечивающих развитие эмбриона в наземных условиях, большое количество желтка в яйцеклетке; • внутреннее оплодотворение; • прямое развитие зародыша; • дыхание исключительно легочное, тип дыхания – всасывающий; • более совершенное разделение венозного и артериального токов за счет появления неполной перегородки в желудочке сердца; • прогрессивное преобразование скелета; • появление вторичных (тазовых) почек, обеспечивающих всасывание воды в почечных канальцах; • дальнейшее развитие нервной системы – появление зачатков коры больших полушарий и, как следствие, совершенствование приспособительного поведения за счет выработки условных рефлексов
Птицы	• высокий уровень развития нервной системы и органов чувств; • четырехкамерное сердце и полное разделение венозного и артериального токов крови; • интенсивный обмен веществ, более совершенная терморегуляция, теплокровность; • губчатые легкие, система воздушных мешков, двойное дыхание; • преобразование передних конечностей в крылья; • перестройка скелета и мускулатуры; • перьевой покров; • образование костного кила на грудине;
Млекопитающие	• высокий уровень развития ЦНС, в первую очередь – коры больших

	полушарий; • интенсивный обмен веществ и совершенная система терморегуляции, обеспечивающие животным относительно высокую и постоянную температуру тела; • живорождение и выкармливание детенышей молоком. • тело покрыто волосяным покровом (за редким исключением); • хорошо развиты многочисленные кожные железы; • зубы дифференцированы, расположены в альвеолах и сменяются в течение жизни; • череп сочленен с позвоночником двумя затылочными мышечками; • три слуховые косточки в среднем ухе; • альвеолярные легкие; • полость тела разделена диафрагмой на грудной и брюшной отделы; • сердце четырехкамерное, сохраняется только левая дуга аорты; зрелые эритроциты лишены ядер.
--	---

Филогенетический ряд — это непрерывный ряд видов от древнейших до современных, последовательно сменявших друг друга в процессе эволюции.

Палеонтологический ряд — ряд постепенно изменяющихся в процессе эволюции групп особей, отражающих ход филогенеза организмов в течение значительных отрезков геологического времени.

Палеонтологические ряды описаны у моллюсков планорбисов (Гильгендорф, 1866), аммонитов (Вааген, 1869), палюдин. Вюртенбергер. Описан палеонтологический ряд лошадей (В.О Ковалевский), слонов, носорогов и китообразных.

Геохронологическая таблица

Для облегчения запоминания последовательности эпох фанерозоя применяется мнемоническое правило: «Махбый Отпичный Студент Должен Курить Папиросы Ты Юра, Мал — Примиеси Нам Четвертинку», где буква, с которой начинается слово, обозначает период (кембрий, ордовик, силур, девон, карбон, пермь, триас, юра, мел, палеоген, неоген, четвертинный).

Зон (эонотема)	Эра (эратема)	Период (система)	Эпоха (отдел)	Начало, лет назад ^[2]	Основные события
Фанерозой	Кайнозой	Четвертинный (антропогенный)	Антропоцено ^{[2]мил 1)}	примерно с 1950 г. н. э.	Уровень человеческой активности играет существенную роль в экосистеме Земли.
			Голоцен	11,7 тыс.	Конец Ледникового Периода. Возникновение цивилизаций
			Плейстоцен	2,588 млн	Вымирание многих крупных млекопитающих. Появление современного человека
		Неогеновый	Плиоцен	5,333 млн	Появились и скорее всего вымерли родственные человеку австралопитеки. Появились первые люди (род Homo).
			Миоцен	23,03 млн	
		Палеогеновый	Оligоцен	33,9 млн	Появление первых человекообразных обезьян.
			Эоцен	56,0 млн	Появление первых «современных» млекопитающих.
			Палеоцен	66,0 млн	Выделение из парнокопытных предков древних китов. В позднем палеоцене от кондиляртр произошли непарнокопытные.
		Меловой		145,0 млн	Первые плацентарные млекопитающие. Вымирание динозавров.
			Юрский	201,3 ± 0,2 млн	Появление сумчатых млекопитающих и первых птиц. Расцвет динозавров.
Мезозой		Триасовый		252,17 ± 0,06 млн	Первые динозавры и яйцекладущие млекопитающие.
				298,9 ± 0,15 млн	Вымерло около 96 % всех существовавших видов (Масовое пермское вымирание). Закончилось формирование Гондваны, столкнулись два континента, в результате которого образовались Гангя и Аппалачские горы. Океан Пангаласса
		Пермский			
		Каменноугольный		358,9 ± 0,4 млн	Появление деревьев и пресмыкающихся.
				415,2 ± 3,2 млн	Появление земноводных и споровых растений. Начало формирования уральских гор
		Девонский			
		Силурийский		443,8 ± 1,5 млн	Ордовикско-силурийское вымирание. Выход жизни на сушу: оскории; появление челюстноротых
				485,4 ± 1,9 млн	Ракооскорпионы, первые сосудистые растения.
		Ордовикский			
		Кембрийский		541,0 ± 1,0 млн	Появление большого количества новых групп организмов («Кембрийский взрыв»).
Докембрий		Эдкаррий		~835 млн	Многоклеточные животные — вендобионты и фауна Дроушанто. Разделение Паннотии на континент Гондвана и мини-континенты Балтики, Сибири и Лавразии
		Неопротерозой	Криогений	~720 млн	Одно из самых масштабных оледенений Земли. Начал формироваться суперконтинент Паннотия
			Тоний	1,0 млрд	Начало распада суперконтинента Родиния. Хайнаньская биота
			Стений	1,2 млрд	Суперконтинент Родиния, суперокеан Мировия
			Эктазий	1,4 млрд	Первые многоклеточные растения (красные водоросли)
		Мезопротерозой	Каликий	1,6 млрд	Раскол Колумбии
			Стагерий	1,8 млрд	Сформировались ядерные живые организмы. Формируется суперконтинент Колумбия.
		Палеопротерозой	Орозий	2,05 млрд	Интенсивное проробразование. Вероятно, атмосфера Земли стала окислительной (богатой кислородом)
			Ривзий	2,3 млрд	Завершается пуронское оледенение. Появляются предпосылки появления ядра у организмов.
			Сидерий	2,5 млрд	Пик проявления полосчатых железистых кварцитов. Кислородная катастрофа. Начало пуронского оледенения
Архей		Неоархей		2,8 млрд	Формирование настоящей континентальной земной коры. Появление кислородного фотосинтеза.
		Мезоархей		3,2 млрд	Раскол Вальдбары
		Палеоархей		3,6 млрд	Завершилось формирование твердого ядра Земли. Формирование первого суперконтинента — Вальдбара
				4 млрд	Образование гидросферы. Появление примитивных одноклеточных организмов (образовавших строматолиты)
Катархей				~4,6 млрд	~4,6 млрд лет назад — формирование Земли.

ОСНОВНЫЕ ОБЪЕКТЫ.

Эдиакарская морская фауна.

Вплоть до середины двадцатого столетия считалось, что первые многоклеточные организмы появились в кембрийском периоде (543-485 млн лет назад), а в докембрии или криптозое (3,9 млрд - 543 млн лет назад) на нашей планете существовали лишь бактерии и, возможно, некоторые одноклеточные. Но к середине 80-х годов на всех континентах, кроме Антарктиды, были обнаружены докембрийские бесскелетные организмы множества разновидностей. Их общими признаками можно назвать отсутствие конечностей и пищеварительных органов, асимметричное расположение правых и левых сегментов, а также наличие ветвящейся трубчатой системы, которая пронизывает всё тело.

В 1946 году Рег Спригг (Reg Sprigg) нашёл так называемых медузоидов в Эдиакарских холмах в Южной Австралии. На тот момент эти горные породы считались раннекембрийскими, и находка вновь не получила должного внимания и только в 1957 году с обнаружением в Чарнвудском лесу (Англия) организма, похожего на ветку растения, которому дали название «чарния» (*Charnia*), было признано существование докембрийской биоты.

В 2004 году Международный союз геологической науки утвердил название «Эдиакарский период» или «Эдиакарий», в честь тех самых австралийских холмов, ставших поворотной точкой в изучении докембрийской биоты. В более ранней литературе чаще можно встретить термины «вендский период» или просто «венд», а также «вендобионты» для обозначения эдиакарской биоты. По современным представлениям Эдиакарий охватывает временной интервал от 635 до 543 млн лет назад и завершает собой докембрий. Мир вендобионтов, где никто никого не ел, Мак-Менамин назвал «садом Эдиакары», с явной шуточной аллюзией на сад Эдема

Интересно, что эдиакарская биота просуществовала относительно недолго: появившись около 580 млн лет назад, 545 млн лет назад она исчезла, уступив место кембрийскому взрыву.

До сих пор существует несколько устоявшихся версий относительно того, как классифицировать вендобионтов. Спригг и Глесснер считали их предками современных кишечнополостных и червей и относили вендобионтов к существующим типам и классам животных. Сейчас этой версии придерживается так называемая «австралийская школа».

Остальные исследователи полагают, что их сходство только внешнее, и относить к современным группам их нельзя, поскольку они обладают уникальным строением. Так, например, в 1983 году М.А. Федонкин представил доказательства того, что вендобионты являлись билатерально-симметричными организмами и обладали так называемой «симметрией скользящего отражения». Такое строение тела можно сравнить с расположением зубцов в закрытой молнии. До Федонкина было принято считать это явление случайной деформацией в процессе захоронения.

В 1984 году Адольф Зейлахер (Adolf Seilacher) предложил новый тип организации вендских животных. Например, исследователь выделил для вендобионтов общую черту – все они представляют собой варианты широкой ленты со вздутиями - «стёганое одеяло»).



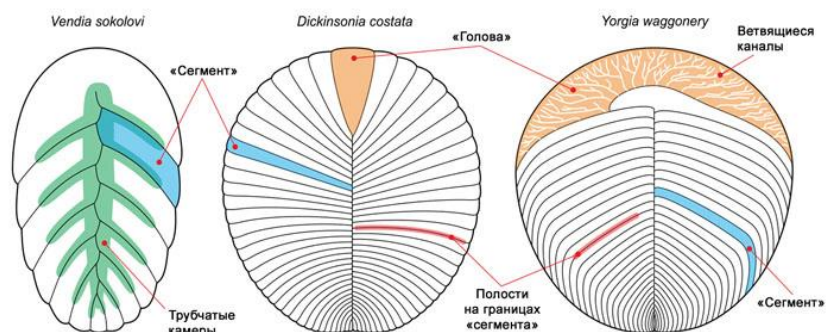
Трибрахидий
(*Tribrachidium heraldicum*)

Дело в том, что с точки зрения физики для оптимального газообмена и питания у живого организма должно быть определённое соотношение площади поверхности и размеров тела или физиологический предел размеров тела. Современные (фанерозойские) многоклеточные организмы достигли его с помощью множества выростов и впячиваний с большой поверхностью (лёгкие, жабры, пищеварительная система и другие).

При этом им удалось сохранить (с некоторыми поправками) круглое в сечении тело. А вот вендобионты пошли иным путём и превратились в максимально плоские организмы без сложных внутренних структур. Их размеры варьировались от миллиметров до нескольких метров. Сейчас выделяют несколько условных таксонов эдиакарской фауны, в основном в зависимости от формы тела: **эмбрионы** (0,1-0,2 мм); **диски** (до 180 мм), например, **эдиакария** (Ediacaria), **цикломедуза** (Cyclomedusa), **ругоконитес** (Rugoconites); **мешкообразные** (10-12 см); **«стёганные одеяла»** (от нескольких миллиметров до 4,5 метров), здесь выделяют также **рангеоморфы** (чарния) и **проартикуляты** [сприггина (Spriggina), ёргия (Yorgia)]. Но, несмотря на все старания учёных, многие организмы не вписываются в относительно общую классификацию и попадают в раздел «другие организмы» или «организмы, предположительно относящиеся к современным таксонам».

Существует мнение, что эти древние существа были буквально нашпигованы одноклеточными водорослями и существовали с ними в симбиозе. Это делало животных практически независимыми от внешних источников пищи. Аналоги такого сотрудничества можно найти и сейчас: например, глубоководные погонофоры и некоторые моллюски в процессе питания задействуют бактерий-хемоавтотрофов.

С другой стороны, надо учитывать, что вендобионты были очень разнообразны. Не факт, что их вообще можно хоть в каком-то приближении считать единой группой. Это скорее эволюционный уровень. И несмотря на то, что большинство вендобионтов никаких потомков не оставило, от некоторых из них вполне могли напрямую произойти современные животные — например, пластинчатые и гребневики.



Дикинсонии (Dickinsonia),
найденные в Южной Австралии

Кимберелла. Самое древнее абсолютно бесспорное ископаемое многоклеточное животное называется *Kimberella quadrata*. Это двусторонне-симметричное существо длиной до 15 сантиметров, ползавшее по морскому дну. Характер изменений формы тела найденных кимберелл (а найдено их много, в разных частях света) вместе с отпечатками следов не оставляет сомнений, что они активно ползали, растягиваясь, сжимаясь и изгибаясь с помощью мышц. Характерные признаки кимбереллы — вытянутое, но компактное тело с ногой (мускулистой нижней поверхностью) и мантией (складкой, окаймляющей туловище). По этим признакам она очень похожа не на кого-нибудь, а на моллюсков. Только в конце эдиакария появились многоклеточные существа, способные активно отыскивать добычу и захватывать ее крупными кусками, чтобы переварить внутри. Вендобионты были перед такими чудовищами беззащитны — неудивительно, что их «золотой век» на этом закончился. В истории донных сообществ началась совершенно другая эпоха.

Животные кембрия. «Большой взрыв жизни».

Конец эдиакарского периода является в то же время рубежом двух эонов — протерозоя и фанерозоя; и вот тут нужно небольшое пояснение. Главное отличие фанерозойской жизни — колоссальное обилие многоклеточных животных, подавляющее большинство которых относится уже к современным типам. В кембрии появляются губки, гребневики, стрекающие, кишечнополостные, всевозможные черви, членистоногие, моллюски, брахиоподы, иглокожие, полухордовые и хордовые. Внезапное появление этих животных в палеонтологической летописи принято называть кембрийским взрывом. Кембрий — это время рождения фауны, близкой к современной.

Причины взрыва

Итак, в начале кембрия уникально быстро возникло множество новых крупных эволюционных ветвей животных. Такого не случалось больше никогда, ни раньше, ни позже. Даже после катастрофических массовых вымираний (о которых речь впереди) животный мир восстанавливался за счет нарастания разнообразия уже существовавших больших групп, а не за счет появления новых. Вот почему кембрийский взрыв обязательно требует объяснения.

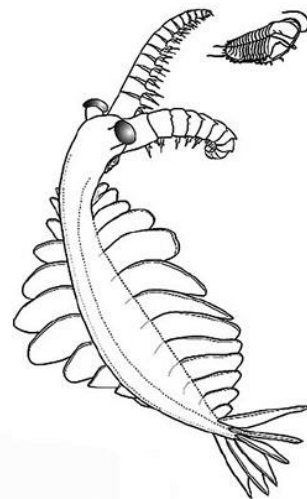
Правда, «быстро» все же не значит «моментально». Период длился примерно 57 миллионов лет (542–485 млн лет назад), при этом в самом его начале (первые шесть миллионов лет) морская фауна еще довольно бедна. Новые группы животных появляются там действительно быстро по меркам истории Земли, но не мгновенно.

В тех кембрийских местонахождениях, тип сохранности которых допускает захоронение бесскелетных существ, сразу же обнаруживается, что немалая часть кембрийской фауны была вполне «мягкотелой». Так что дело не в скелетах. Явление, которое надо объяснить в первую очередь, — это уникальное ускорение эволюции многоклеточных животных, очень быстро (в конце эдиакария — начале кембрия) создавшее много новых крупных групп, не важно, скелетных или нет.

Все изменилось, когда повышение концентрации кислорода в морской воде (судя по геологическим данным, оно шло постепенно в течение всего эдиакария) позволило некоторым многоклеточным существам ускорить обмен веществ настолько, чтобы начать вести по-настоящему активный образ жизни. Появились «сборщики урожая» — крупные животные с двигательной системой и ртом, которые перемещались по водорослевым матам и выедали их значительные участки. Одним из таких «сборщиков» была знакомая нам кимберелла. По образу жизни и по скорости передвижения первые эдиакарские животные-водорослееды скорее всего напоминали современных улиток; для нас это выглядит безобидно, но «с точки зрения» эдиакарских жителей появление таких существ было настоящей катастрофой. Водорослевые маты немедленно перестали быть сплошными; животные не только соскребали их сверху, но и объедали снизу. Тут досталось и вендобионтам, которые в конце эдиакария просто исчезли.

С этого момента начала работать общая закономерность, установленная экологами уже давно и проверенная разными способами, вплоть до прямых экспериментов: в условиях давления хищника разнообразие его жертв повышается по сравнению с сообществом, где хищников нет вовсе.

Пеллетная транспортировка взвеси — важнейший фактор, понижающий мутность воды в океане. Таким образом, после появления планктонных фильтраторов вода стала прозрачной, свет проникал в нее на большую глубину, и в ней повысилась концентрация кислорода (часть его раньше расходовалась на окисление той же мертвой взвеси). Первый фактор увеличил глубину зоны, в которой возможен фотосинтез, второй — улучшил условия для придонной фауны. По всем данным, прозрачный насыщенный кислородом фанерозойский океан резко отличается от мутного докембрийского океана. Заодно повысилась концентрация кислорода и в атмосфере. Естественно, что в новых условиях разнообразие как растений, так и животных дополнительно выросло.



Аномалокарис. Один из самых знаменитых хищников кембрия достигал в длину одного метра. Первые крупные хищники, уже совершенно определенно специализированные на питании другими многоклеточными животными, появляются примерно 520 миллионов лет назад; это динокариды — хорошо плавающие существа, родственные членистоногим. Самый известный представитель динокарид — аномалокарис, стройное сегментированное создание длиной около метра со сложными фасеточными глазами и мощными членистыми околоротовыми конечностями, явно служившими для захвата подвижной добычи. В самом начале кембрия подобных хищников нет. «Скелетная революция», несомненно, в какой-то степени стала ответом на их появление; изменение химического состава морской воды только облегчило ее. С появлением хищников процесс образования новых жизненных форм стал понемногу тормозиться. Репертуар экологических ниш сложился, почти все они уже были распределены и заняты. Разумеется, расширение сообществ продолжалось и дальше — просто медленнее. Но такого размаха, как на рубеже эдиакария и кембрия, крупномасштабная эволюция животных больше никогда не достигала.

Возможные причины «взрыва»

Несмотря на то, что довольно сложные трехслойные животные существовали (возможно, задолго) до кембрия, эволюционное развитие в раннем кембрии представляется исключительно быстрым. Предпринималось множество попыток объяснить причины подобного «взрывного» развития.

1. Рост концентрации кислорода

Нужно отметить, что достаточное количество кислорода для существования крупных вендобионтов присутствовало уже в эдиакарский период.^[40] Однако дальнейший рост концентрации кислорода (между эдиакарским и кембрийским периодами) мог предоставить организмам дополнительную энергию для производства веществ (таких как коллаген), необходимых для развития принципиально более сложных структур тела, в том числе — используемых для хищничества и защиты от него.

2. Минерализация океана. Еще кембрийский взрыв иногда называют «скелетной революцией». Действительно, многие появившиеся в этот момент группы животных приобрели твердые скелеты, причем совершенно разные и на разной основе: например, между спикулами губок, раковинами моллюсков и хитиновыми панцирями членистоногих нет буквально ничего общего. Скелетная революция, она же «биоминерализация», в начале кембрия охватила не только самых разных многоклеточных животных, но и одноклеточных эукариот, и некоторые водоросли. Напрашивается предположение, что это связано с глобальным изменением химического состава морской воды. Показано, что в начале

кембрия по каким-то чисто геологическим причинам примерно в три раза выросла концентрация в морской воде кальция (Ca^{2+}) — иона, который нужен для создания твердых скелетов как никакой другой. Минеральная основа скелетов животных — чаще всего карбонат кальция (раковины моллюсков, иглы и чашечки коралловых полипов, спикулы губок), а иногда фосфат кальция (кости позвоночных).

3. Развитие полового размножения

Возможное появление полового размножения или его существенное развитие в период кембрийского взрыва для очень примитивных и похожих существ может означать то, что существовала возможность их межвидового и более далёкого скрещивания, что резко увеличивало изменчивость.

4. Экологические объяснения. «Гонка вооружений» между хищниками и жертвами

Гонка вооружений между хищниками и жертвами могла вызвать эволюцию жестких частей тела в раннем кембрии.

Поэтому маловероятно, что оно само по себе стало причиной кембрийского взрыва, хотя и имело сильное влияние на анатомические формы возникших при этом организмов.

5. Множество пустых ниш

Джеймс Валентайн в нескольких работах сделал следующие предположения: резкие изменения в строении тела являются «затруднительными», поэтому изменения имеют гораздо больше шансов закрепиться, если они встречают слабую (или вовсе не встречают) конкуренцию за ту экологическую нишу, на которую они нацелены. Последнее необходимо, чтобы новый тип организмов имел достаточно времени для адаптации к своей новой роли.

Это обстоятельство должно приводить к тому, что реализация основных эволюционных изменений гораздо более вероятна на начальных стадиях формирования экосистемы — из-за того, что последующая диверсификация заполняет почти все экологические ниши. В дальнейшем, несмотря на то, что новые типы организмов продолжают возникать, нехватка пустых ниш препятствует их распространению в экосистеме.

Модель Валентайна хорошо объясняет факт уникальности кембрийского взрыва — почему он случился только один раз и почему его длительность была ограничена.¹

АКУЛЫ.

Акулы (лат. *Selachii*) — надотряд хрящевых рыб (*Chondrichthyes*), относящийся к подклассу пластиножаберных (*Elasmobranchii*) и обладающий следующими отличительными особенностями: удлинённое тело более или менее торпедообразной формы, большой гетероцеркальный хвостовой плавник, обычно большое количество острых зубов на каждой челюсти.

Самые древние представители существовали уже около 420—450 млн лет назад.

К настоящему времени известно более 526 видов акул: от глубоководной мелкой *Etmopterus perryi*, длиной лишь 17 сантиметров, до китовой акулы (*Rhincodon typus*) — самой большой рыбы (её длина достигает 20 метров). Представители надотряда широко распространены в морях и океанах, от поверхности до глубины более 2000 метров. В основном обитают в морской воде, но некоторые виды способны жить также и в пресной. Большинство акул относятся к так называемым настоящим хищникам, но 3 вида — китовая, гигантская и большеротая акулы — фильтраторы, они питаются планктоном, кальмарами и мелкими рыбами.

Первые акулopodobные создания появились около 450 млн лет назад. Основные сведения о происхождении акул получены путём изучения ископаемых зубов. Это связано с

тем, что хрящевые скелеты после смерти довольно быстро распадаются, и находка хорошо сохранившегося скелета акулы — довольно редкое и удачное событие.

Кладоселахия (Cladoselache) Первый прекрасно сохранившийся скелет кладоселахии относится к девонскому периоду и имеет возраст примерно 350 млн лет. Тогда огромные территории нынешних Европы и Северной Америки были покрыты тёплыми неглубокими морями, и в этих исключительно благоприятных для развития морской жизни условиях наряду с другими рыбами процветало и многообразие акул. В это время акулы конкурировали главным образом с панцирными рыбами, уже имея перед ними преимущество в виде строения тела, обладавшего лучшими гидродинамическими характеристиками и простотой. К началу карбона разнообразие акул возросло настолько, что учёные называли этот период «золотой эпохой акул».

Стетакант (Stethacanthus) имел, вероятно, размер примерно 3 метра, от всех существующих и вымерших акул он отличался наличием на голове «шлема» из маленьких зубчиков и необычным образованием на спине, напоминавшем треугольный помазок для бритья, расположенным примерно в том месте, где должен быть спинной плавник. Примерно в это же время развились и акулы с «конвейерным» механизмом смены зубов — особенностью, сохранившейся у современных видов. В эоцене (56—35 млн лет назад) сформировалась основная часть современной фауны акул, в миоцене (23—5 млн лет назад) океаны населяла крупнейшая акула мегалодон.

После Глобального Пермского вымирания сохранилось немного акул, что в итоге позволило занять акулам вакантные места в экосистеме во время очередного эволюционного рывка.

В последующие триасовый, юрский и меловой периоды — эпоху рептилий — акулы приняли вид, похожий на современный, и, будучи неспособными препятствовать выходу намного более совершенных высших позвоночных в океан, находились в тени доминирующих водных хищников тех времён, таких как плезиозавры, ихтиозавры, морские крокодиломорфы и мозазавры. К триасовому и юрскому периодам относятся первые находки остатков акул всех современных отрядов.

С вымиранием гигантских рептилий землю стали заселять млекопитающие, а некоторые из них вернулись в море. Вначале разнообразие акул заметно выросло, и они стали крупнейшими водными хищниками сразу после динозавридов. Хотя в дальнейшем млекопитающие и потеснили акул, они не были столь серьезными конкурентами, как морские ящеры. Появившиеся киты, дельфины, тюлени и сирены стали основным источником пищи для возникших в то время гигантских хищных акул.

Мегалодон, возможно, был в чём-то схож с современной песчаной акулой, однако достигал гораздо больших размеров. Его самый большой найденный зуб имеет длину более 18 см от основания до вершины. Взяв за образец белую акулу, можно небезосновательно предположить, что крупнейшие мегалодоны достигали длины примерно 15—16 метров. Этот вид не дожил до наших дней, исчезнув около 1,5 млн лет назад вследствие уменьшения количества пищи, падения уровня кислорода в мировом океане, изменения климата и, возможно, конкуренции с косатками.

Вопреки распространённому мнению, акулы не оставались неизменными на протяжении 300—400 млн лет их существования. Однако многие современные семейства существуют, по-видимому, уже около 150 млн лет.

Происхождение наземных растений.

Больше века во всех учебниках по ботанике и палеонтологии морские водоросли назывались предками наземных растений, которые внезапно «выпрыгнули» из воды на сушу и буйно там зазеленели. Новая гипотеза датских ученых переворачивает эту схему с ног на

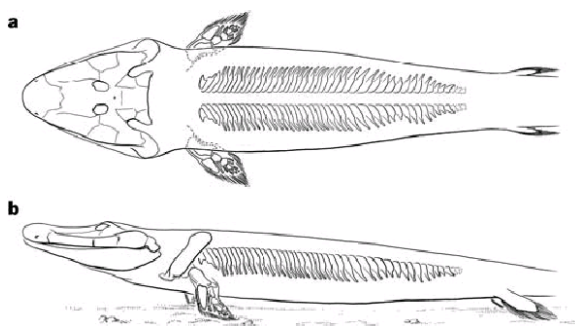
голову, предполагая, что водоросли довольно долго эволюционировали на суше, прежде чем смогли породить высшие растения. 1200 млн лет назад водоросли уже распространились по суше, обитая во влажных местах. Однако возникновение развитых наземных форм не могло произойти до тех пор, пока озоновый слой не достиг достаточной мощности, чтобы защитить наземных обитателей от ультрафиолетового излучения. В силуре возникают высокоорганизованные формы водорослей. От водорослей хлорофитов, а возможно от бурых, независимо от высших растений, произошли мхи, которые еще не имели сосудов, но уже заселяли сушу. Их остатки найдены в карбоне, но понятно, что группа развилась намного раньше, будучи среди первых наземных растений. Споры, похожие на споры печеночных мхов, найдены в ордовике. Однако дальнейшего развития эта группа не получила.

Следующим этапом в эволюции растений стало возникновение трахеофитов — сосудистых растений (450 млн лет назад), которые сначала размножались спорами (споры известны с позднего ордовика), а затем и семенами. Первые наземные растения, очевидно, появились в форме крошечных растений, напоминающих печеночные мхи, в среднем ордовике. Они еще не имели сосудистых тканей, что строго ограничивало их размеры и жестко привязывало к влажным наземным условиям. С ордовика до конца девона существовали первые наземные растения — риниофиты. Они имели кутикулу, защищающую их от высыхания, ползучее корневище и вертикальные дихотомические стебли не более 20 см высотой, но настоящих листьев еще не было. С позднего силура они широко распространились по полузатопленным берегам мелководных лагун и рек. В позднем силуре от псилофитовых форм происходят плауны, которые в карбоне достигают своего максимального развития. Их представители, лепидодендроны и сигиллярии, были уже высокими деревьями до 30–40 м. Ветвление было еще дихотомическим, а листья имели шиловидную форму. Все ранние растения еще были споровыми. Девонский период стал временем развития основных групп растений: хвощей, плаунов и папоротников. Их расцвет также пришелся на каменноугольный период, когда возникли уже настоящие леса. На границе юры и мела появляются покрытосеменные или цветковые растения, которые в наше время являются самыми многочисленными.

ЗЕМНОВОДНЫЕ.

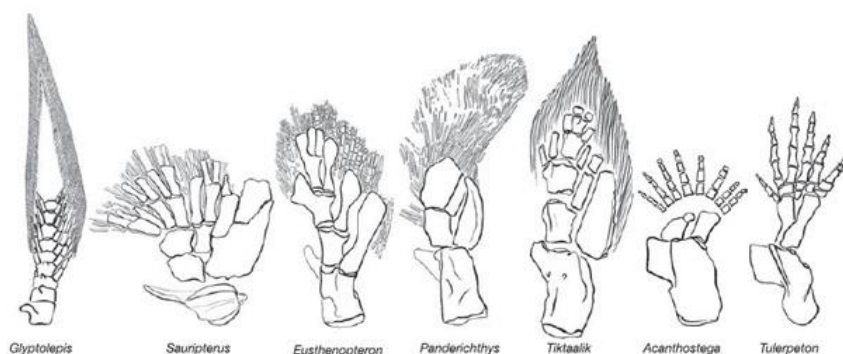
Эустеноптерон (*Eusthenopteron*) — это все-таки еще рыба, а не четвероногое, хотя и он, вероятно, уже мог передвигаться по суше.

Тиктаалик (*Tiktaalik*) На территории арктической Канады в отложениях позднего девона (около 380 млн лет назад) были найдены останки плоской, покрытой крупной чешуей рыбы с крокодильей головой, на которой сверху сидят глаза, впереди две ноздри и большая зубастая пасть. Ее называли тиктаалик, что на языке эскимосов означает «большая пресноводная рыба, живущая на мелководье». У этой рыбы часть черт сходна с древними кистеперыми рыбами, а другие признаки сближают ее с первыми четвероногими (тетраподами). Рыбьи признаки — это чешуя, плавниковые лучи, почти такие же, как у кистеперых, сложная нижняя челюсть и небные кости. А «четвероногие» признаки — укороченный череп, отделенная от пояса передних конечностей и потому относительно мобильная голова, локтевой и плечевой суставы.



У рыб скелет плавника крепится к поясу конечностей, который в свою очередь прикреплен к скелету жаберной крышки. И рыбам это удобно: они синхронизируют движения жаберной крышки и грудных плавников и таким образом дышат. Зато головой просто так повертеть рыбы не могут: поскольку жаберная крышка крепится к голове, то движение головой отзовется дерганьем плавников. У тиктаалика почти все кости жаберной

крышки исчезли, так что голова получила свободу и независимость.



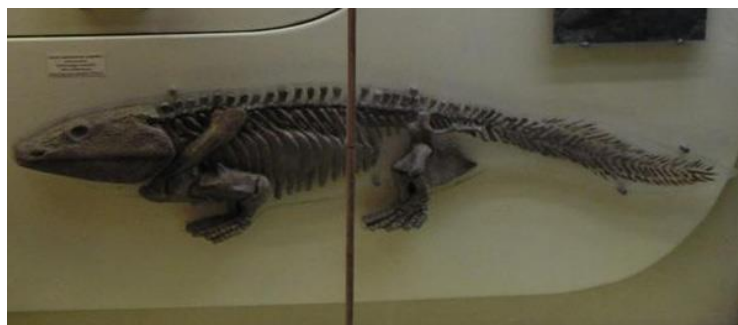
Строение передних конечностей у древних кистеперых рыб (слева от тиктаалика) и древнейших земноводных (справа от него).

Тиктаалик дышал через дыхательные отверстия, расположенные на конце плоской и широкой морды. Воду, а возможно и атмосферный воздух, в легкие нагнетали не жаберные крышки, а щечные помпы. Этому способствовала и широкая форма морды этих рыб, очень похожая на крокодилю. Нужно отметить, что это изобретение было сделано и другими представителями древних кистеперых рыб, например пандерихтисом (*Panderichthys*). Ребра, уплощенные и налегающие друг на друга, помогали тиктаалику укрепить позвоночный столб и брюхо, а окостеневшие соединения позвонков делали позвоночник менее подвижным. Это всё способствовало ходячему образу жизни, а не только плавающему. Тиктаалик имеет полное право претендовать на звание «переходной формы» между продвинутыми кистеперыми рыбами, подобными эустеноптерону, и примитивными земноводными, подобными ихтиостеге.

В настоящее время появились подозрения, что древнейшие тетраподы ихтиостега и акантостега (вероятные потомки тиктаалика) не являются прямыми предками позднейших земноводных, а относятся к некой тупиковой ветви.

Ихтиостега — род вымерших челюстноротых из семейства Ichthyostegidae кланды тетраподоморфов, живших в девонском периоде

У ихтиостег были ноги, но они, возможно, не использовались для ходьбы по суше. Ихтиостеги имели хвостовой плавник и некоторые органы чувств, функционирующие только в воде. Тело их было покрыто мелкими чешуйками.



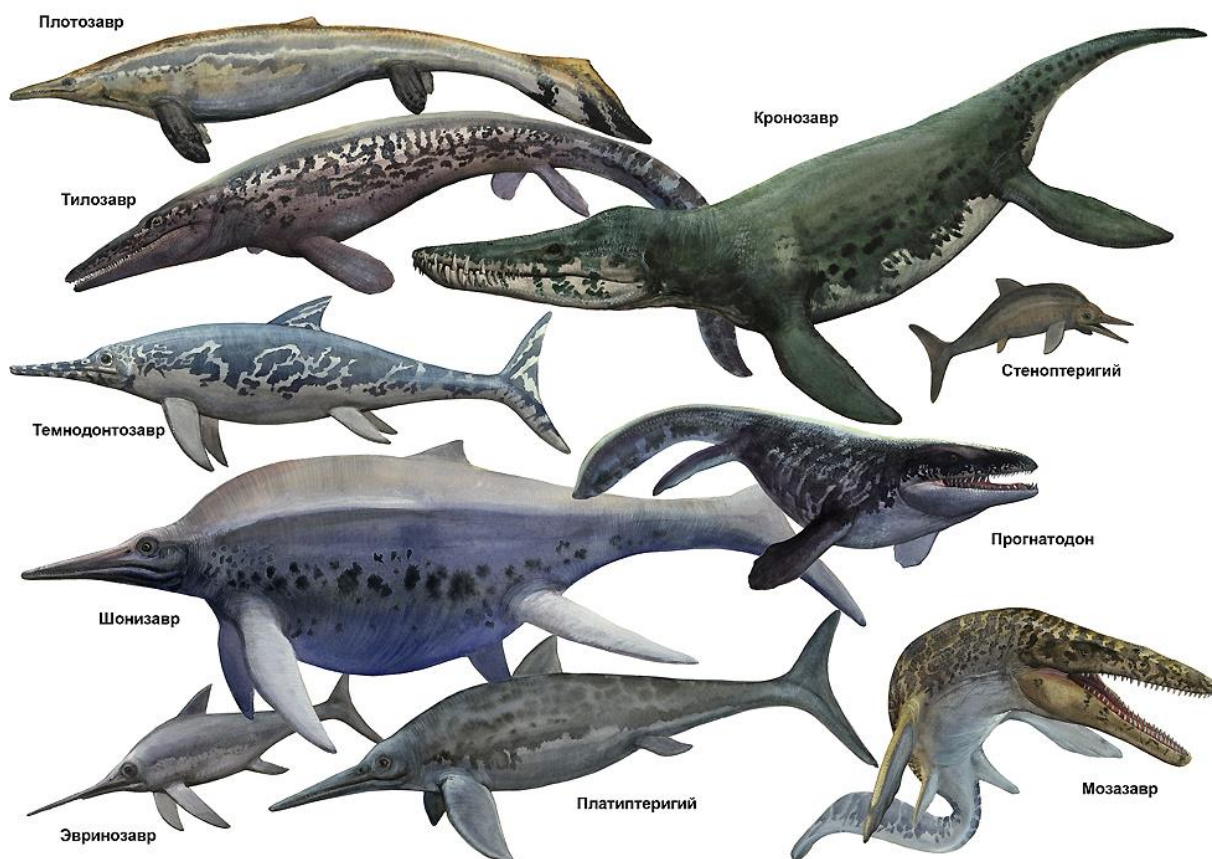
Ихтиостеги были около 1,5 метров длиной и имели по пять пальцев на задних ногах. Точное количество пальцев на передних лапах пока не установлено, но вероятно, что их было тоже пять. На хвосте у них был плавник «рыбьего» типа, поддерживаемый невральными и гемальными дугами.

Ноздри располагались у нижнего края челюстей. Слезная кость примыкает к ноздре, но не к глазнице. Межвисочная кость отсутствует (это обстоятельство исключает возможность происхождения большинства темноспондилов от этого рода). Заднетеменная кость непарная. Челюстная кость соприкасается с квадратноскуловой. Сохраняются

подкрышечные и предкрышечные кости. Носовые кости широкие. Глазницы овальные и располагаются в центральной части черепа. Хорда через отико-окципитальную часть мозговой коробки доходит до гипофизарной ямы.

Акантостега (*Acanthostega gunnari*), также обнаруженная в восточной Гренландии. Она находилась в родстве с ихтиостегой, однако её пояс передних конечностей был сильнее и лучше.

РЕПТИЛИИ



Котилозавры Первые представители пресмыкающихся, известны со среднего карбона. К концу периода появляются зверообразные, которые в пермском периоде расселяются практически по всей суше, становясь одной из господствующих групп и составляя конкуренцию пресмыкающимся. В мезозойской эре наступает расцвет пресмыкающихся, среди представителей наблюдается наибольшее многообразие. Происходит освоение морских и речных водоёмов, а также воздушного пространства. В мезозое происходит формирование всех современных групп пресмыкающихся. Последняя группа — змеи — сформировалась в меловом периоде.

В конце мелового периода происходит резкое сокращение количества видов пресмыкающихся.

Мозазавры — семейство вымерших морских ящериц (*Lacertilia*) из надсемейства *Mosasauroidea*. Довольно близкие родственники современных варанов. В настоящее время останки представителей этого семейства уже были обнаружены на всех континентах, включая Антарктиду.

Мозазавры представляли собой большую группу позднемеловых морских рептилий, главным образом хищников крупных или средних размеров. Большинство известных видов населяло тёплые мелководные моря, широко распространённые в позднем

меловом периоде. В силу своей специализации, мозазавры очень сильно отличались от современных ящериц: строение их внутренних органов больше напоминало таковое у китообразных, они рожали живых детенышей, имели высокие темпы обмена веществ и были теплокровными. В течение последних 20 миллионов лет мелового периода (туронский — маастрихтский ярусы) мозазавры вытеснили всех своих конкурентов в лице крупных ламнообразных акул и последних плиозавров, и стали доминирующими морскими хищниками своего времени. Они исчезли вместе с динозаврами и птерозаврами в результате массового вымирания в конце мелового периода, произошедшего примерно 66 миллионов лет назад.

Из-за быстрого метаболизма, мозазаврам требовалось относительно большее количество пищи, чем современным рептилиям. Ранние мозазавры имели раздвоенные нижние челюсти и множество подвижных сочленений в черепе, отдаленно напоминая в этом плане змей. Такой краниальный кинетизм позволял им проглатывать относительно крупные пищевые объекты целиком, а зубы на птеригоидах, как у некоторых мурен, помогали мозазаврам проталкивать в глотку большие куски пищи. Однако, кинетизм черепа некоторых более поздних форм был сильно снижен и зубы многих из них приобретали режущий морфотип, что позволяло развитым мозазаврам с легкостью выпиливать куски мяса из очень крупной добычи, а также выдерживать нагрузки, возникающие при ее сопротивлении. Но некоторые мозазавры, такие как глобиденс, развили довольно необычные адаптации для кормления. Зубы этого мозазавра были шаровидной, удобной для раскусывания раковин моллюсков формы, подобно зубам триасовых плакодонт^[54].

Плезиозавры — отряд ископаемых пресмыкающихся, живших с триасового по меловой периоды (около 199,6 — 65,5 млн лет назад). Расцвет пришёлся на юру — ранний мел. Некоторые представители отряда достигали размера до 15—20 м.

Плезиозавры были прекрасно приспособлены к жизни в водоемах, хотя им приходилось выныривать на поверхность, чтобы вдохнуть воздуха. Имели четыре конечности, преобразованные в ласты, и бочкообразное тело. У одних были длинные шеи и маленькие головы, у других — короткие шеи и огромные головы. Обитали в морях и океанах. Останки обнаружены на всех континентах, в том числе и в Антарктиде.

Выделяют два подотряда плезиозавров — длинношеих плезиозавроидов (включая семейство цимолиазавров) и короткошеих плиозавроидов.

Самые крупные плезиозавры — плезиозавроиды эласмозавриды, такие как представители родов *Mauisaurus*, *Elasmosaurus*, *Hydrotherosaurus*, достигавшие 20, 14 и 13 м соответственно (хотя, оценки длины первого в 20 м все таки не бесспорны). Некоторые плиозавроиды, такие как кронозавр и плиозавр, хотя достигали несколько меньшей общей длины, имели значительно больший вес.

В 2005 году в Мексике были обнаружены останки гигантского плиозавра (возможно, близкого к кронозавру), длина которого достигала от 11,7 до 15 м.

Ихтиозавры («рыбоящеры») — отряд вымерших крупных (до 24 метров в длину, в среднем 2—4 метра) морских рептилий. Предки ихтиозавров, вероятно, спустились в море по руслу одной из доисторических рек, где останки практически не сохраняются, — все известные науке виды уже жили в морской воде и не выбирались на сушу. Были живородящими. Имели эвриапсидное строение черепа, произошли от диапсидных предков. Зубы сменялись неоднократно в течение жизни. Конечности использовались для поддержания равновесия и контроля направления. У хвоста было две лопасти, нижняя из которых поддерживалась позвоночным столбом. У



типичного ихтиозавра были очень большие глаза, защищённые костяным кольцом, говорящим о том, что охотились они ночью. В связи с этим некоторые виды обладали огромными глазами (до 20 см в диаметре). Дополнительно, по-видимому, имелись какие-то кожные рецепторы, подобные боковой линии, на что указывают следы нервов и сосудов на костях черепа. Кожа, лишённая чешуи, для лучшего скольжения в воде была, возможно, покрыта слизью. Хорошо приспособленные к движению с высокой скоростью, как современный тунец, некоторые ихтиозавры также наводят на предположения, что они были хорошими глубоководными ныряльщиками, как современные киты. Наиболее вероятная окраска — противотень (тёмный верх и светлый низ) с синеватым оттенком. Самый крупный описанный вид по обнаруженным окаменелостям ихтиозавр — шонизавр из позднего триаса полярной Канады (в 2003 году описан скелет длиной около 23 метров). У некоторых ранних ихтиозавров были зубы, с помощью которых они питались моллюсками — аммонитами, наутилоидеми и кальмарами. Очень похоже на то, что они также питались рыбой, а у части более крупных видов были тяжёлые челюсти и зубы, которые показывают, что они питались мелкими рептилиями.

Ихтиозавры существовали в течение почти всего мезозоя 250—94 млн лет назад, наибольшего расцвета достигли в юрский период, пока в меловой период их не сменили плезиозавры. В мелу количество видов ихтиозавров резко снизилось, лишь один род — платиптеригий — дожил до начала позднего мела. Предполагается, что глобальное потепление, произошедшее в середине мелового периода, повлекло за собой обеднение кислородом океанических вод, что привело к «аноксидной катастрофе» и вымиранию не приспособившихся к изменениям климата ихтиозавров

КИТООБРАЗНЫЕ

Киты, дельфины, морские свиньи происходят от сухопутных предков, о чём свидетельствуют многие их признаки:

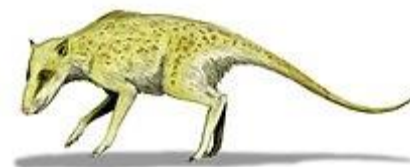
- дыхание атмосферным воздухом с помощью легких,
- кости плавников (передних конечностей) китообразных напоминают кости конечностей наземных млекопитающих,
- движение хвоста и изгибание позвоночника в вертикальной плоскости более характерно для бегущего галопом млекопитающего, чем для плывущей рыбы, изгибающейся обычно в горизонтальной плоскости.

Вопрос о том, как наземные млекопитающие эволюционировали в морских, долгое время оставался загадкой из-за отсутствия ископаемых останков переходных видов. Однако благодаря открытию пакицета в 1992 году стало возможным прояснить ряд вопросов и увидеть стадии переход.

Пакицеты были копытными животными, иногда их классифицируют как ранних китов. Они жили на территории современного Пакистана (откуда и название — «кит из Пакистана») в раннем эоцене, около 50 миллионов лет назад. Это было животное, внешне напоминавшее собаку, однако с копытами на пальцах и с длинным тонким хвостом. С китами пакицета роднит устройство уха: слуховая булла пакицета, как и у кита, образовалась исключительно из барабанной кости. Форма ушной области пакицета весьма необычна и находит аналоги только у китообразных. Первоначально предполагалось, что ухо было приспособлено для жизни под водой, однако, как показали дальнейшие исследования, уши пакицета подходят только для воздушной среды, и, если пакицет действительно предок китов, возможность слышать под водой была позднейшей адаптацией уже имевшегося слухового аппарата. Как утверждает Тевиссен, зубы пакицета тоже напоминают зубы ископаемых китов.

Индохиус.

Тевиссенем было обнаружено, что схожее устройство уха наблюдалось в окаменелостях небольшого похожего на оленя животного индохиуса. Индохиус обитал около 48 миллионов лет назад в Кашмире. Это небольшое — размером с домашнюю кошку — травоядное животное обладало некоторыми чертами, сближающими его с китами и свидетельствующими об адаптации к водной среде. В их числе толстая и тяжёлая костная оболочка, напоминающая костную оболочку некоторых современных полуводных животных, таких как гиппопотамы, что способствует уменьшению плавучести и, как следствие, позволяет оставаться под водой. Это позволяет предположить, что индохиус, подобно современному водяному оленю, нырял под воду, чтобы укрыться от хищника.



Амбулоцет является наиболее примечательным из древних китов известный из эоцена Пакистана. Внешне это млекопитающее походило на трёхметрового крокодила и было полуводным: его задние лапы лучше приспособлены для плавания, нежели для ходьбы по суше. Вероятно, он плавал, изгибая тело в вертикальной плоскости, как современные выдры, тюлени и киты. Предполагается, что амбулоцетиды охотились подобно современным крокодилам, подстерегая в засаде рыб и пришедших на водопой животных.

Базилозавр (обнаруженный в 1840 г. и первоначально принятый за рептилию, чем объясняется «рептильное» имя) и дорудон жили приблизительно 38 миллионов лет назад и представляли собой чисто морских животных. Базилозавр был столь же велик, как крупные современные киты, достигая порой 18 метров в длину. Мозг базилозаврид был сравнительно небольшого размера, из чего можно предположить, что они вели одиночный образ жизни и не имели такой сложной социальной структуры, как у некоторых современных китообразных. В связи с переходом к чисто водному образу жизни у базилозаврид наблюдается деградация задних конечностей — они, хотя и хорошо сформированы, невелики и уже не могут использоваться для передвижения. Впрочем, возможно, они играли вспомогательную роль при спаривании. Тазовые кости базилозаврид уже не связаны с позвоночником.



Дорудон. Дорудонтиды были несколько меньше, до 5 метров.

При всём сходстве с современными китами у базилозаврид и дорудонтид отсутствовал лобно-жировой выступ, так называемая дыня, позволяющая ныне существующим китообразным эффективно использовать эхолокацию.



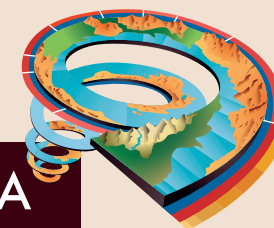
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эволюционное учение (Дарвинизм): учеб. для биол. спец. вузов / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов.- М.: Высшая школа, 1998.
2. Биология. Общие закономерности. 9 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / С. Г Мамонтов, В. Б. Захаров - М.: Дрофа, 2011.
3. Биология. Введение в общую биологию и экологию. 9 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / А. А. Каменский, Е. А. Криксунов, В. В. Пасечник. – М.: Дрофа, 2011.
4. Биология. Общая биология. 10–11 классы: учеб. для общеобразоват. учреждений / А. А. Каменский, Е. А. Криксунов, В. В. Пасечник. – М.: Дрофа, 2005.
5. Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня: неожиданные открытия и новые вопросы / А. Марков. – М.: АСТ: CORPUS, 2016.
6. Жизнь на суше: расцвет, кризис, возрождение / Ястребов С.А. //Химия и жизнь, №11, 2016
7. <https://ru.wikipedia.org/>
8. <https://elementy.ru/>
9. <http://akully.ru/>
10. <http://paleonews.ru>

Фамилия _____

Имя _____

Лист заданий к занятию для 9-11 классов
«Раскрути спираль эволюции»



ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Эра	Период	Начало, лет назад	Основные эволюционные события	Основные животные /формы жизни Самые грозные хищники
КАЙНОЗой	Антропоген (Четвертичный)	2,588 млн		
	Неоген	11,7 млн		
	Палеоген	66 млн		
МЕЗОЗой	Мел	145 млн		
	Юра	201 млн		
	Триас	252 млн		
ПАЛЕОЗой	Пермь	298 млн		
	Карбон (Каменноугольный)	358 млн		
	Девон	420 млн		
	Силур	443 млн		
	Ордовик	485 млн		
	Кембрий	542 млн		
ПРОТЕРОЗой	Эдиакарий (Венд)	635 млн		
		2,5 млрд		
АРХЕй		4 млрд		

1

Посмотрите фильм «Зарождении жизни на Земле», соедините стрелкой событие и его временной промежуток в истории.

Появление Солнечной системы и Земли	13,7 млрд лет
Большой взрыв и рождение Вселенной	4,6-4,5 млрд
Появление цианобактерий	4-3,5 млрд лет
Появление первичного океана	542 млн лет
Появление бактерий и архей	4,4 млрд лет
Кембрийский взрыв	3-2,5 млрд лет

2

Какая наука изучает ископаемые остатки живых организмов и свидетельства их жизнедеятельности в прошлые геологические периоды?

- а) Археология
- б) Сейсмология
- в) Палеонтология

3

Кто является «ЖИВЫМ ИСКОПАЕМЫМ» * в каждой группе? Выберите правильный ответ (картинки будут Вам в помощь).

ЧЛЕНИСТОНОГИЕ

- а) трилобит
- б) мечехвост
- в) ракоскорпион

МОЛЛЮСКИ

- а) наutilus
- б) камероцерас
- в) аммонит

РЫБЫ

- а) дунклеостей
- б) латимерия
- в) зебровидная бычья акула

РЕПТИЛИИ

- а) игуана
- б) гаттерия
- в) саркозух

4

Какие АРОМОРФОЗЫ* произошли у древних амфибий и позволили им выйти на сушу?

Словарь терминов к занятию

Биологическая эволюция – это естественный процесс развития живой природы, сопровождающийся образованием и вымиранием видов, преобразованиями экосистем и биосферы в целом.

«Живое ископаемое» – это ныне существующие виды, которые относятся к крупным систематическим группам, почти полностью вымершим десятки и сотни миллионов лет.

Филогенетический ряд – это непрерывный ряд видов от древнейших до современных, последовательно сменявших друг друга в процессе эволюции.

Конвергенция – это эволюционный процесс, при котором возникает сходство между организмами различных систематических групп, обитающих в сходных условиях, в одинаковых экологических нишах.

Направления эволюции:

Ароморфоз – это усложнение структурно-функциональной организации организма, поднятие ее на более высокий уровень.

Идиоадаптация – это приспособление к специальным условиям среды, полезное в борьбе за существование, но не изменяющее уровня организации организма.

Общая дегенерация – это упрощение организации, которое ведет к исчезновению органов активной жизни, что связано, главным образом, с переходом к паразитическому или сидячему образу жизни.

САМОСТОЯТЕЛЬНО

5 Используя экспозицию «Зал мелового периода», подпишите названия динозавров, обитавших на суше, и ящеров, живших в морях в юрском и меловом периодах.

6 Появление обтекаемой формы тела, ласт и «рыбьего хвоста» у морских рептилий - это пример:

- а) идиоадаптации* б) ароморфоза*
в) общей дегенерации*

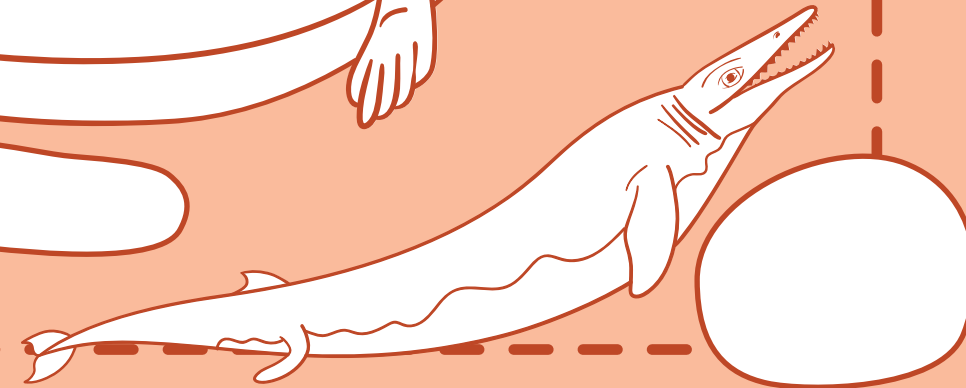
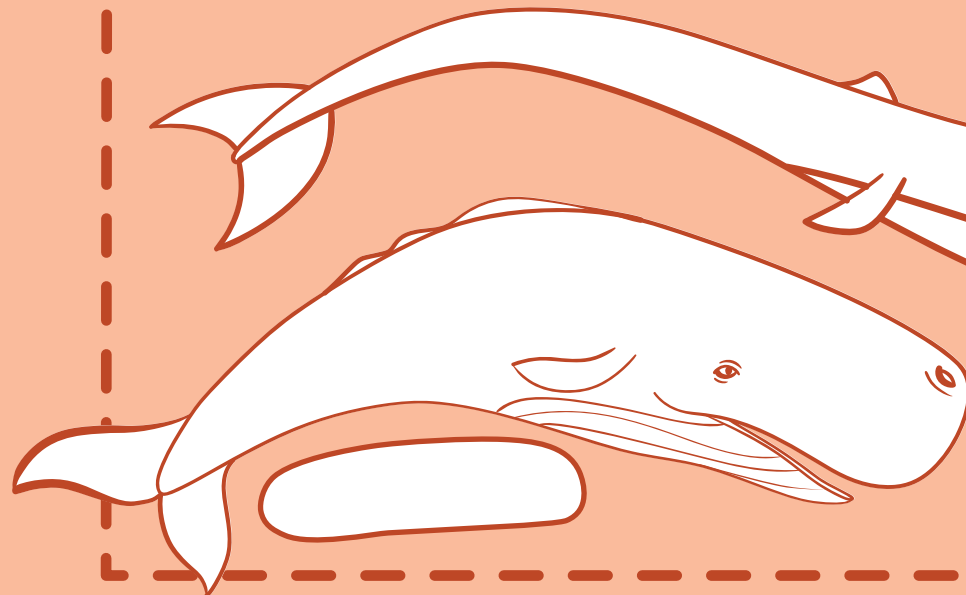
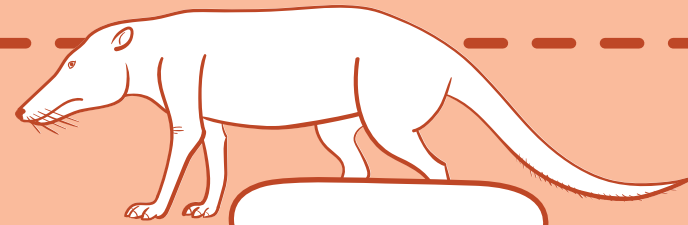
7 Что, по мнению ученых, стало причиной вымирания динозавров в конце мелового периода? Перечислите основные факторы:

мезозой

САМОСТОЯТЕЛЬНО

8

Используя экспозицию «Древние млекопитающие. Возвращение в море», восстановите последовательность **ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОГО РЯДА*** китообразных (стрелками или цифрами) и подпишите названия животных, его составляющих.



9

Примерами **КОНВЕРГЕНЦИИ*** являются:

- а) форма тела у рыб, ихтиозавров и дельфинов
- б) появление дыхала у мозазавров и китообразных
- в) строение челюсти у крокодилов и акул

10

Каким современным наземным животным наиболее родственны китообразные?

- а) носорогу б) гиппопотаму в) слону

кайнозой