



Основные этапы эволюции органического мира Земли

От первых микробов до сложных экосистем: как менялась жизнь на Земле.

Как ученые восстанавливают историю жизни Земли

Геологическая летопись, окаменелости и изотопные следы позволяют проследить путь жизни от архея к палеозою и связать его с изменениями среды.



Что определяло жизнь в архее



Жаркая и нестабильная планета

Архейская Земля была зоной вулканов, столкновений и сильной геодинамики. Поверхность постоянно менялась, поэтому устойчивые условия для жизни существовали лишь в отдельных защищенных средах.



Атмосфера без свободного кислорода

В воздухе почти не было кислорода, а озоновый экран еще не сформировался. Из-за этого поверхность подвергалась мощному ультрафиолетовому излучению, опасному для большинства живых систем.



Убежища в океанах и источниках

Первые организмы могли выживать в океанах, у берегового мелководья и возле гидротермальных источников. Там сочетались вода, минералы и энергия, необходимые для примитивного обмена веществ.



Только самые простые формы

В таких условиях сохранялись главным образом анаэробные микроорганизмы. Их строение было предельно простым, но именно они заложили основу дальнейшего появления более сложной биосферы.

Первые следы жизни на Земле

● Древнейшие находки

К самым ранним признакам жизни относят микрофосилии, строматолиты и изотопные следы биогенного углерода. Эти свидетельства позволяют говорить о существовании жизни уже в архее.

● Почему это важно

Ранние микроорганизмы изменяли окружающую среду задолго до появления сложных форм жизни. Их деятельность стала началом длительной перестройки океанов, пород и атмосферы планеты.

● Кто были первые организмы

Наиболее вероятно, что первыми живыми системами были прокариоты — бактерии и археи. Они не имели оформленного ядра и мембранных органоидов, но уже были способны к самостоятельному обмену веществ.



Архей: главные признаки и биологическое значение

Показатель	Характеристика
Время	4,0–2,5 млрд лет
Организмы	Прокариоты
Среда	Океаны, источники
Обмен	Анаэробный, хемосинтез
Формы	Строматолиты
Значение	Первая биосфера

Архей — это этап зарождения жизни, когда простые организмы создали основу для последующей кислородизации и усложнения биосферы.

Ключевые особенности архея показывают, как на молодой Земле возникли первые устойчивые экосистемы и началось преобразование планеты живыми организмами.

Обобщение по данным геохронологии, палеонтологии и геохимии древних пород

Рост содержания кислорода в атмосфере Земли

После появления кислородного фотосинтеза изменения шли неравномерно: сначала кислород поглощался океанами и породами, а затем начал накапливаться в воздухе.

Обобщенная геохимическая реконструкция по данным осадочных пород и изотопных исследований



Главный перелом произошел около 2,4 млрд лет назад, после чего атмосфера и биосфера начали быстро меняться.



2,4 млрд лет назад

произошел крупнейший перелом
в истории атмосферы Земли.

Именно тогда кислород,
производимый цианобактериями,
начал накапливаться в среде
и сделал возможным аэробное
дыхание и формирование озонового
слоя.

Геохимические и палеобиологические
данные о Великом кислородном
событии

Как в протерозое возникли эукариоты



Новая клеточная организация

Эукариоты отличались оформленным ядром и мембранными органоидами. Это сделало клетку более сложной и позволило ей эффективнее управлять обменом веществ.



Эндосимбиоз

По современным представлениям, митохондрии и хлоропласты возникли из бактерий, которые древние клетки поглотили и сохранили как полезных внутриклеточных партнеров.



Больше энергии

Появление митохондрий резко расширило энергетические возможности клетки. Это дало эукариотам преимущество в росте, делении и освоении новых экологических ниш.



Основа будущего усложнения

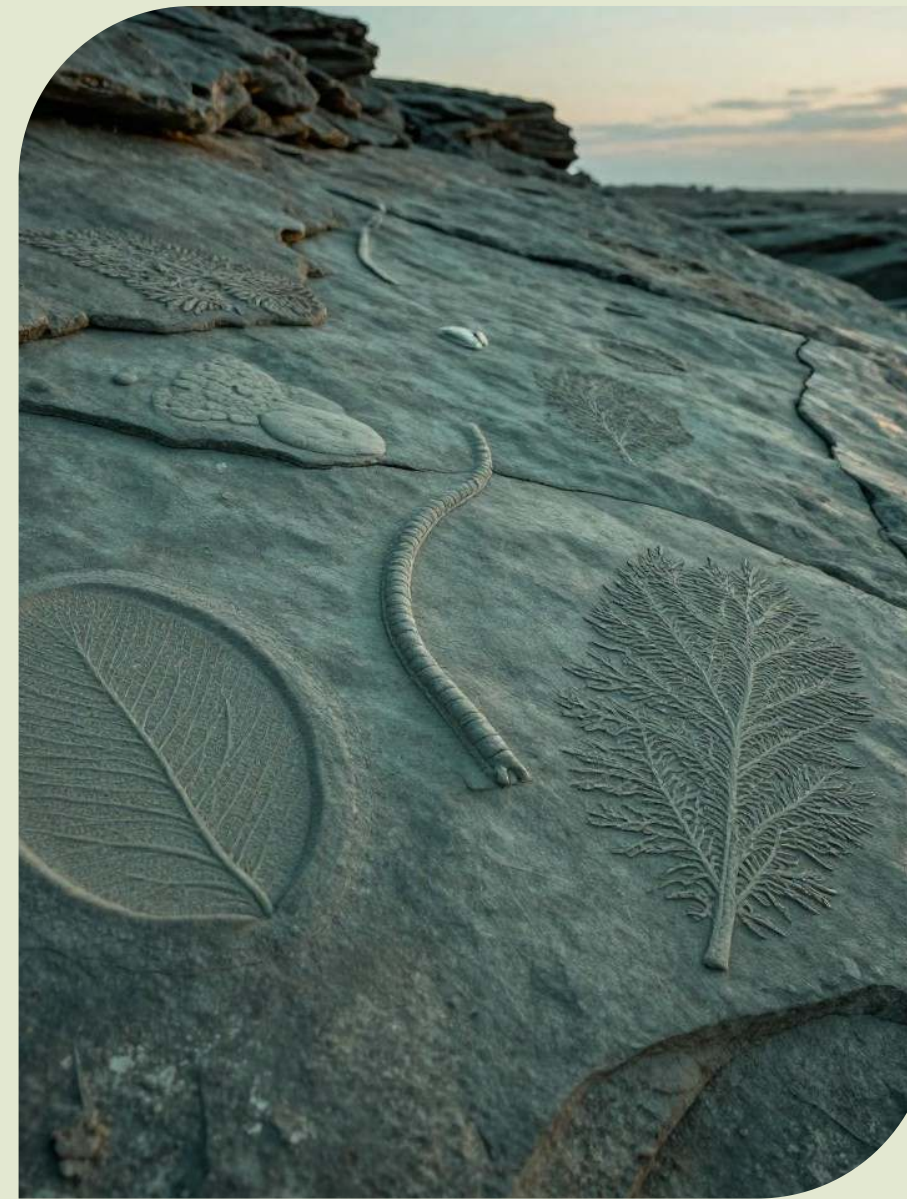
Именно эукариоты стали базой для полового размножения, многоклеточности и появления организмов с более сложной внутренней организацией, чем у прокариот.

Многоклеточность и эдиакарская биота



Первые крупные тела

К концу протерозоя в океанах появились организмы, уже заметные не только под микроскопом. Их тела были мягкими, а строение — разнообразным, что указывает на ранние попытки жизни перейти к более крупным формам.

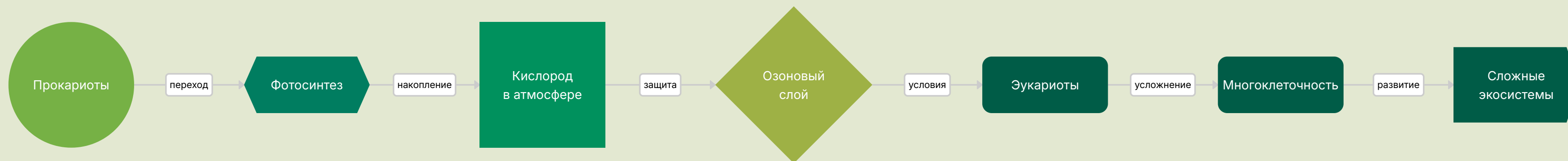


Эдиакарский мир

Эдиакарская биота сохранилась в виде отпечатков в осадочных породах и остается одной из самых загадочных страниц древней истории. Эти формы показывают, как жизнь подошла к порогу кембрийского взрыва.

Путь от простых клеток к сложным организмам

Последовательность этапов основана на данных палеонтологии, геохимии и сравнительной биологии.



Кембрийский взрыв и разнообразие ЖИВОТНЫХ



Быстрый скачок разнообразия

В начале кембрия за сравнительно короткий геологический срок появились многие основные типы животных. Эволюция ускорилась, потому что организмы начали активнее взаимодействовать, конкурировать за пищу и использовать разные способы защиты.



Хищники и пищевые цепи

Появление хищничества резко усложнило экосистемы: у добычи появились панцири, шипы и другие приспособления, а у хищников — органы чувств и органы захвата. Пищевые цепи стали более многоуровневыми.



Скелеты и движение

У многих животных возникли наружные и внутренние скелеты, которые улучшили опору тела, защиту и подвижность. Это сделало возможными более сложные формы передвижения, активный поиск пищи и рост размеров.



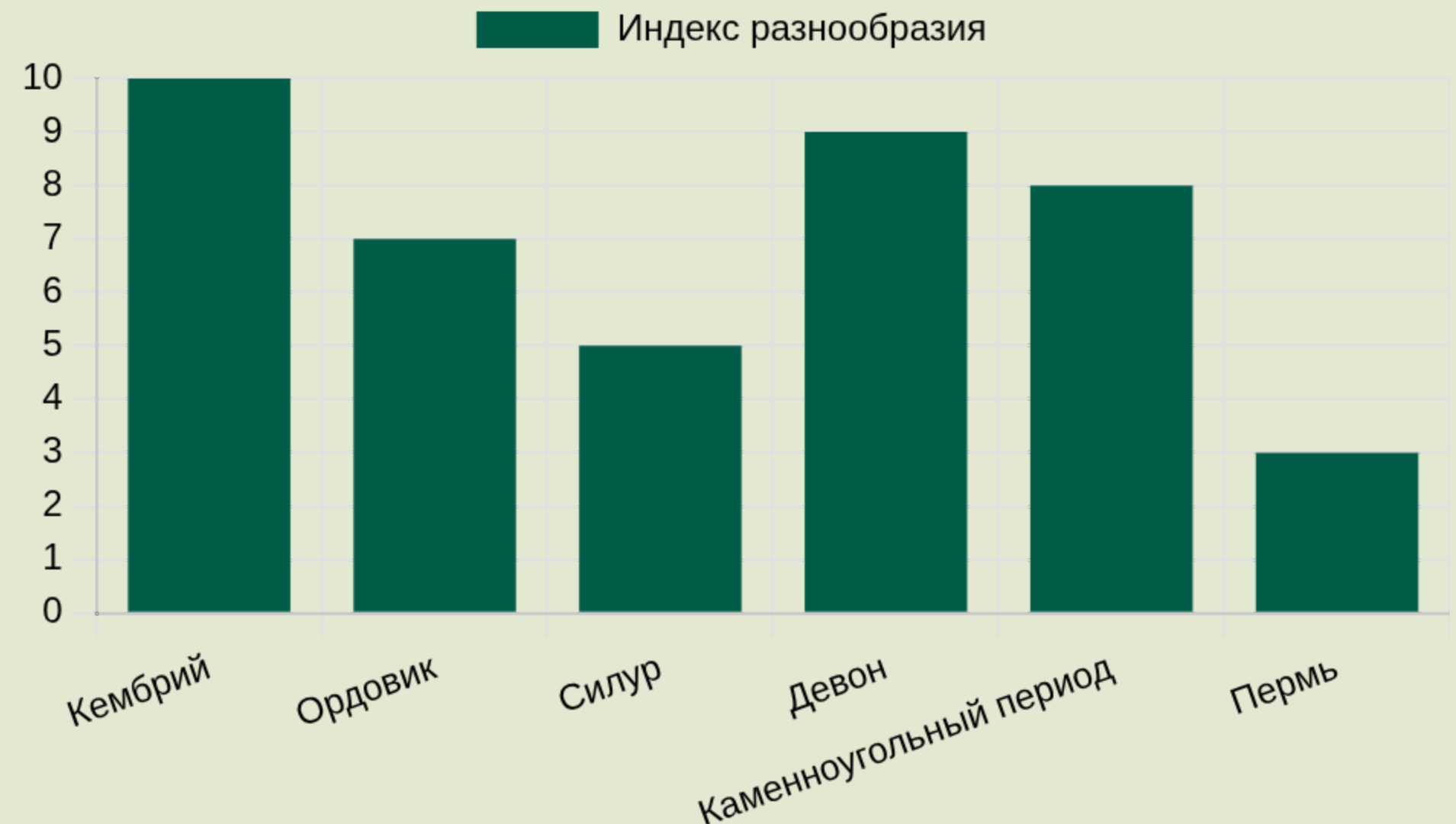
Новый этап эволюции

Кембрийский взрыв не был случайным всплеском, а отражал накопление изменений в среде и в самих организмах. Он заложил основу для дальнейшего разнообразия морской жизни в палеозое.

Рост разнообразия организмов в палеозое

Помимо числа групп, на динамику влияли освоение суши, усложнение пищевых связей и появление новых экосистем, которые по-разному развивались в каждом периоде.

Схематическая оценка по обобщённым данным геологической летописи; периодизация: Международная стратиграфическая шкала



Рост был неравномерным: после раннего скачка последовали новые этапы усложнения, а пермский кризис резко сократил разнообразие.

Ордовик и силур: жизнь в морях и первые шаги на сушу



Девон — век рыб и первых лесов

1 Расцвет рыб

Девон справедливо называют веком рыб: в морях доминировали панцирные, кистепёрые и лучепёрые формы. Их разнообразие отражало высокую конкуренцию и освоение разных способов питания и движения.

2 Первые леса

На суше появились древние леса из плаунов, хвощей и папоротникообразных растений. Они изменили ландшафты, усилили почвообразование и повлияли на состав атмосферы, поскольку заметно увеличили продукцию органического вещества.

3 Предпосылки для наземных позвоночных

У кистепёрых рыб сформировались признаки, важные для выхода на сушу: дыхание воздухом, прочная опора тела и строение плавников, близкое к будущим конечностям наземных позвоночных.



Как позвоночные осваивали сушу



От воды к воздуху

Поздний девон стал временем первых шагов позвоночных вне воды. У ближайших предков земноводных появились лёгкие, более прочные конечности и усиленная опора тела, что позволило передвигаться по мелководью и влажным берегам. Эти изменения стали основой для жизни на суше.



Новые тела для новой среды

Каменноугольный период закрепил успех наземных позвоночных. У ранних пресмыкающихся возникли признаки, снижавшие зависимость от воды при размножении и дыхании, а более совершенная кровеносная система помогла активнее жить в воздушной среде.

Палеозой: ключевые биологические новшества по периодам

Периоды палеозоя показывают, как от морских экосистем жизнь постепенно перешла к освоению суши и более сложной организации сообществ.

Обобщение по геохронологической шкале и палеонтологическим данным

Период	Новшество
Кембрий	Скелеты
Ордовик	Морская фауна
Силур	Растения суши
Девон	Леса и земноводные
Каменноугольный	Углеобразование
Пермь	Пресмыкающиеся

Палеозой характеризуется последовательным усложнением организмов и экосистем: от морского разнообразия к полноценному освоению суши.

Каменноугольный период и углеродный цикл



Болотные леса

Обширные заболоченные леса из древовидных плаунов, хвощей и папоротников накапливали огромные массы органического вещества. Со временем это сырьё стало основой залежей каменного угля.



Растения как двигатель биосферы

Растительность каменноугольного периода резко увеличила продуктивность наземных экосистем. Роль растений в круговороте углерода стала особенно заметной, поскольку они связывали углекислый газ в органическом веществе.



Много кислорода

Высокое содержание кислорода поддерживало интенсивный обмен веществ и создавало условия для крупных размеров некоторых насекомых. Атмосфера этого времени существенно отличалась от современной.



Осаждение углерода

Когда растительная масса не разлагалась полностью и захоранивалась в болотах, углерод выводился из быстрого круговорота. Так формировался долгосрочный запас органического вещества в земной коре.

Массовые вымирания как биологические кризисы

Каждый кризис менял состав биосферы и открывал место для последующего обновления экосистем, хотя последствия были разными по масштабу и длительности.

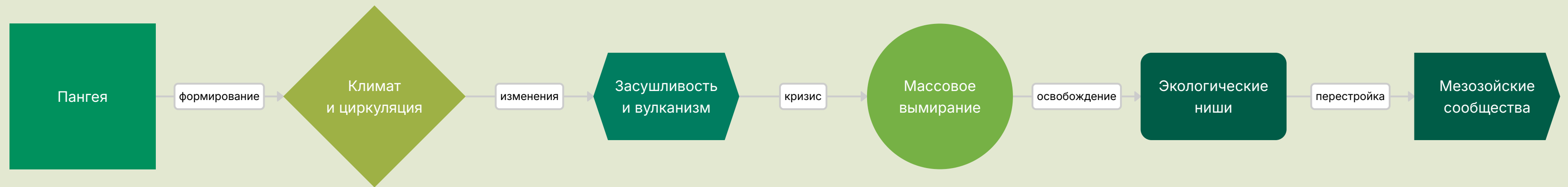
Сводные оценки по палеонтологическим данным; значения отражают относительный масштаб кризисов



Самый разрушительный кризис — пермский; более ранние вымирания тоже ускоряли смену фаун и перестройку сообществ.

Пермский кризис: причины и последствия

Схема основана на общепринятой последовательности факторов, описывающих кризис на границе палеозоя и мезозоя.





От микробов к сложным экосистемам

Путь от архейских прокариот к палеозойским наземным сообществам показал, как фотосинтез, кислород, эукариоты, многоклеточность и освоение суши последовательно расширяли возможности жизни.

