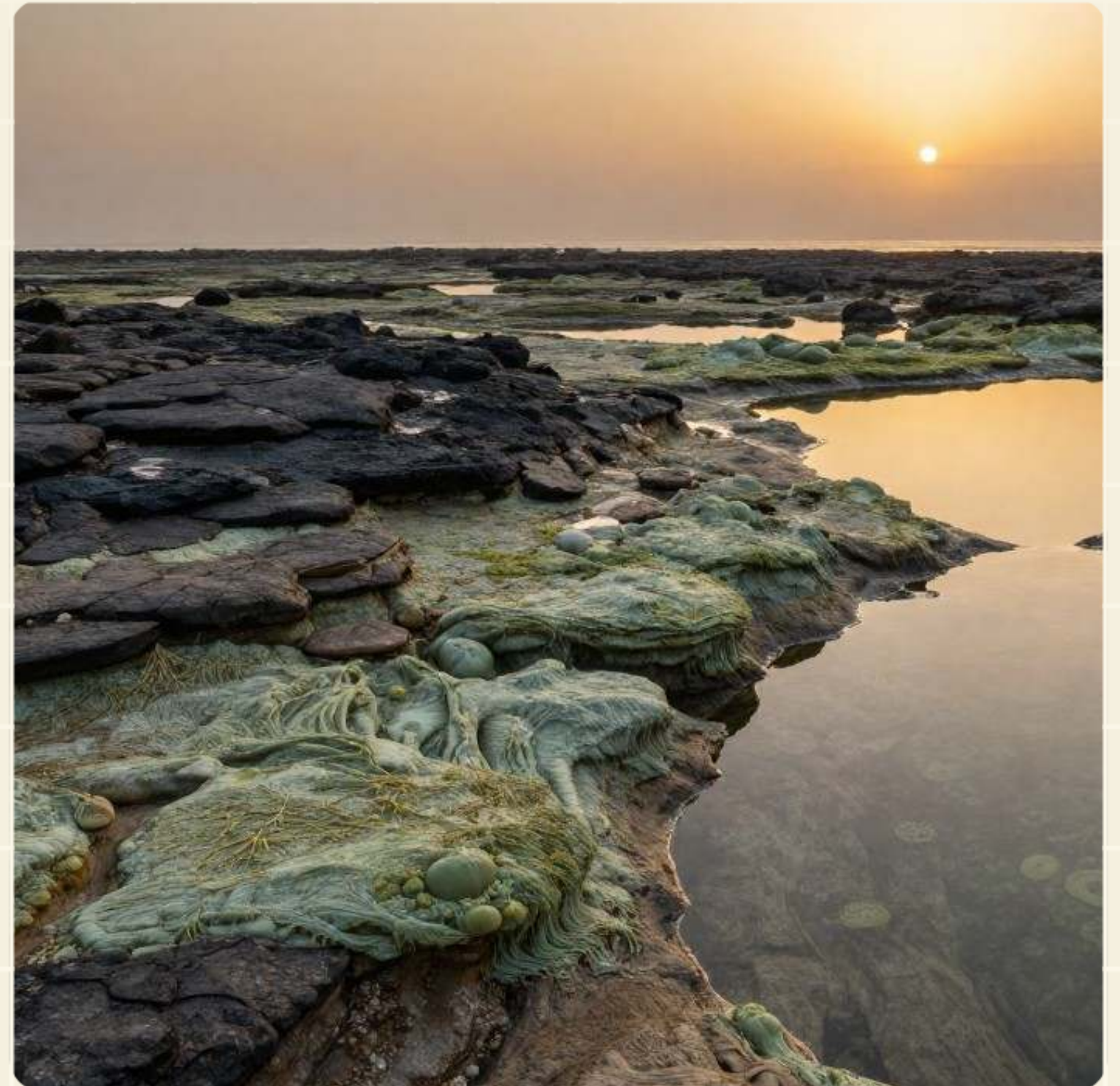


Обзор: становление жизни в архейскую и протерозойскую эры

Архей и протерозой — ключевые этапы формирования жизни на Земле.



Геологические и климатические особенности ранней Земли

Архей отличался активной вулканической деятельностью и бескислородной атмосферой. В протерозое увеличился кислород, начались ледниковые периоды и сформировался озоновый слой, что изменило биогеохимию планеты.

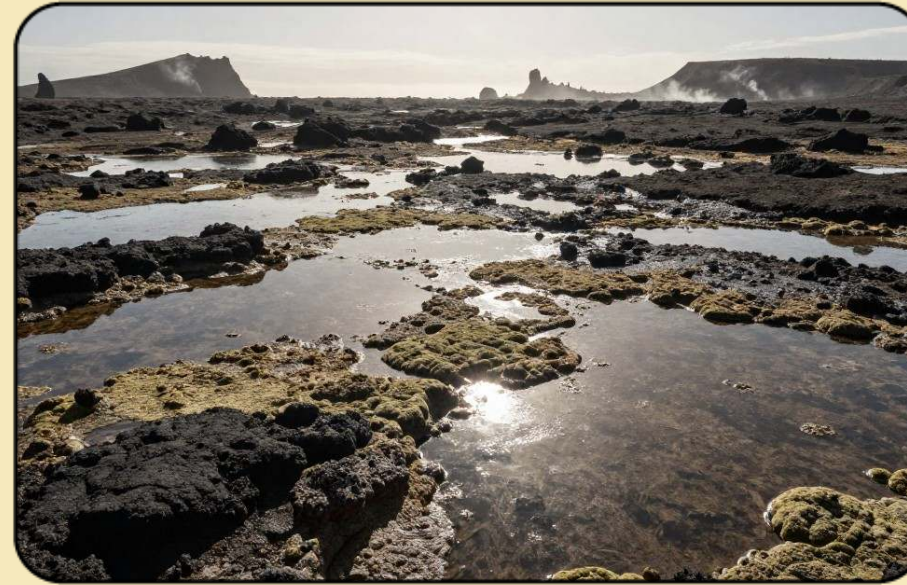


Условия окружающей среды в архейскую эпоху



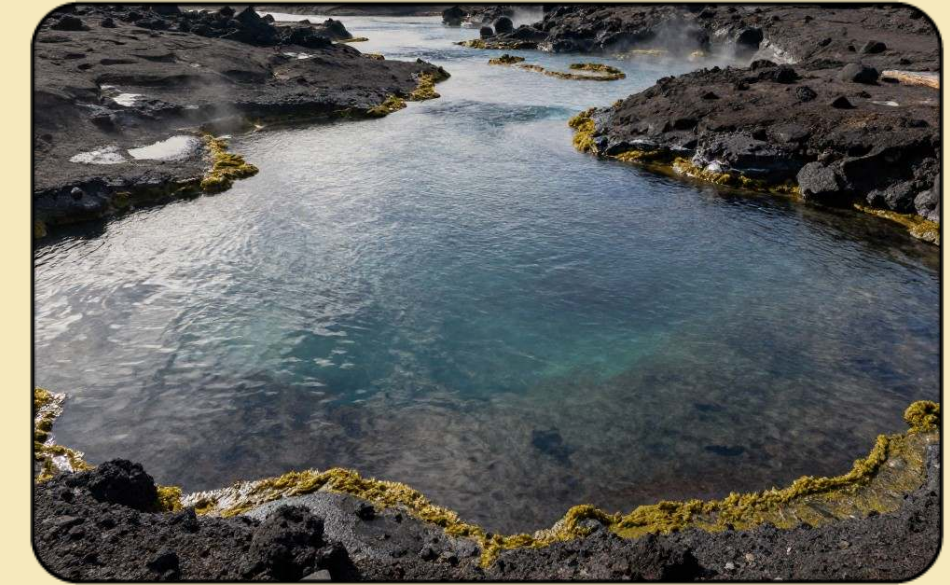
Высокая температура и вулканизм

Поверхность Земли была значительно горячее современного уровня, с частыми извержениями вулканов, формировавших первичные ландшафты и уменьшая стабильность среды.



Отсутствие озонового слоя

Без озона ультрафиолетовое излучение проникало без защиты, создавая экстремальные условия для жизни и ограничивая развитие организмов на поверхности.



Формирование водных бассейнов

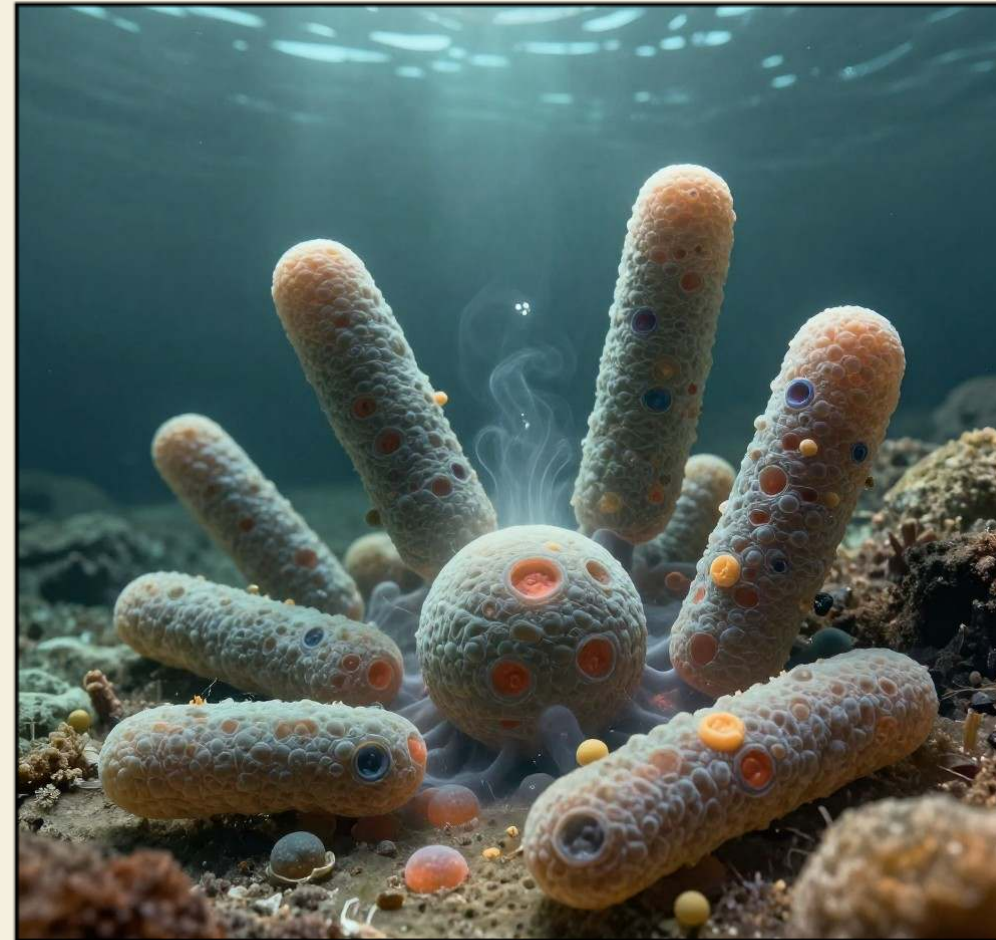
Появились первые стабильные океаны и водоемы, в которых могла зародиться примитивная жизнь благодаря подходящей химии и температуре.

Первые живые организмы: археи и бактерии



Происхождение прокариотов

Около 3,8-3,5 млрд лет назад возникли первые одноклеточные прокариоты — археи и бактерии, приспособленные к жизни в водной среде без кислорода.



Способы питания древних микроорганизмов

Эти организмы использовали хемосинтез, получая энергию за счет химических реакций с неорганическими веществами, что позволяло им выживать в экстремальных условиях.



Строматолиты — доказательства древней жизни

Многослойные структуры, созданные микробными сообществами, фиксируют существование жизни на Земле в архейскую эпоху и подтверждают сложность ранних экосистем.

Хемосинтез как первоисточник энергии

01

Микроорганизмы синтезировали органику, используя энергию химических реакций с серой, железом и другими веществами.

02

Химические условия древних водоемов отличались разнообразием, что обеспечивало множество экологических ниш для разных микробов.

03

Хемосинтез являлся ключевым процессом поддержания жизни до появления фотосинтеза и кислородной атмосферы.

Появление фотосинтеза у древних бактерий



Развитие фотосинтетического процесса

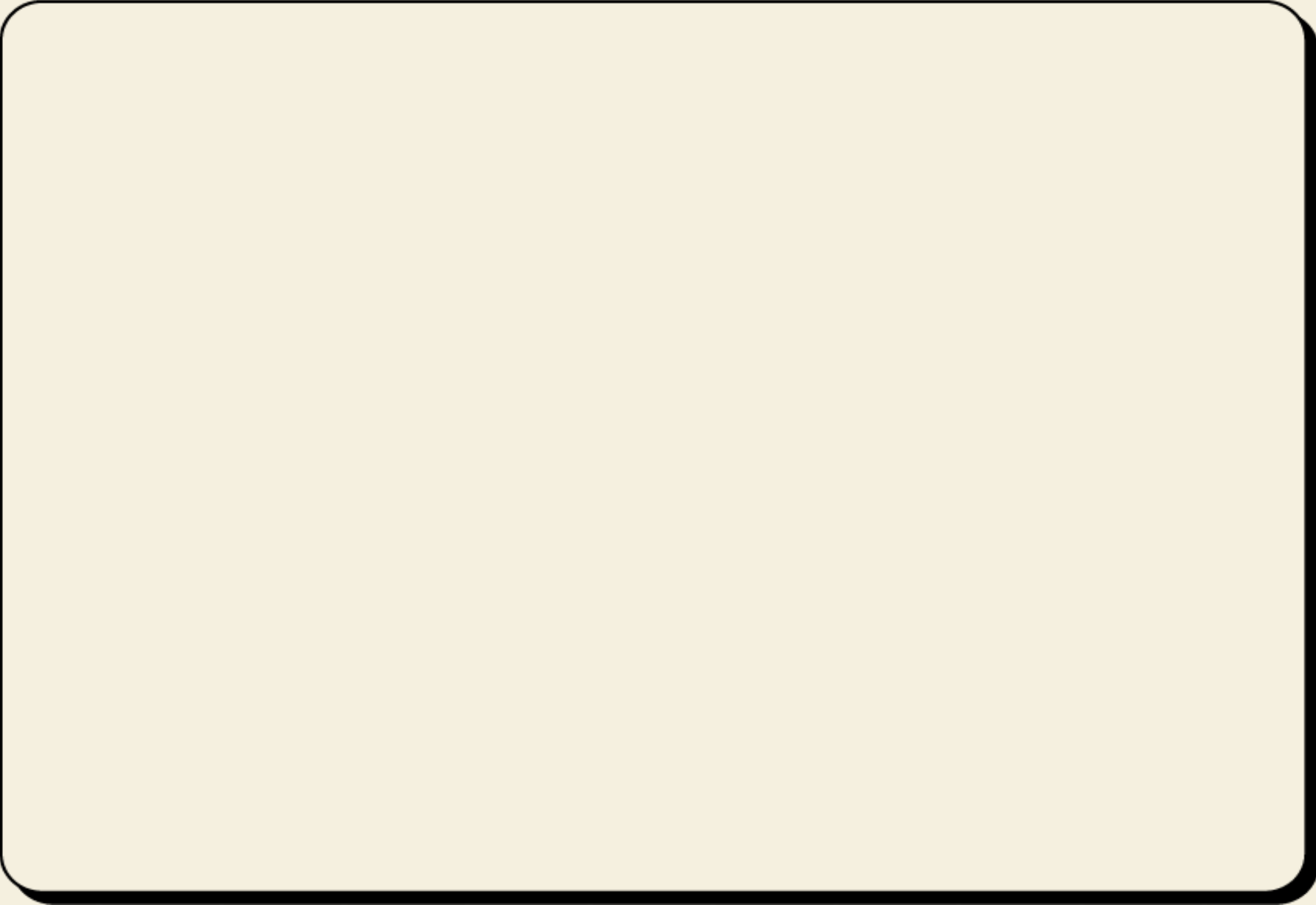
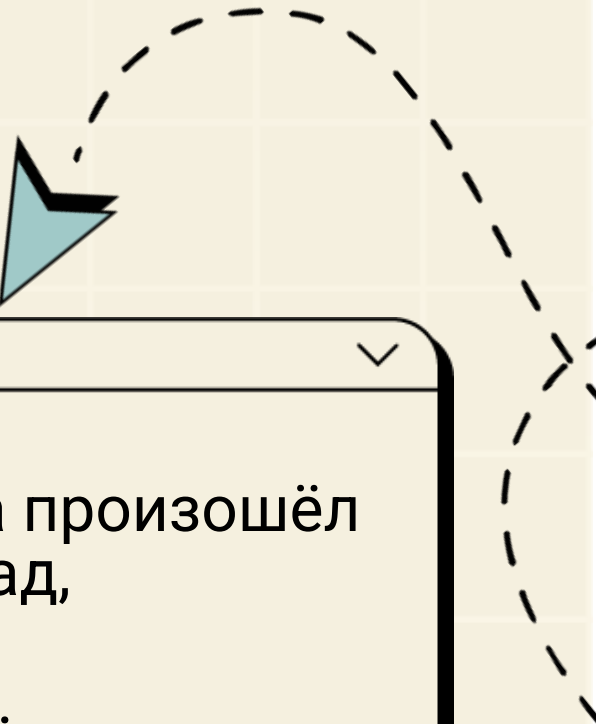
В период 3,5–2,7 млрд лет назад некоторые бактерии научились использовать солнечный свет для превращения CO_2 и воды в органику, выделяя кислород.



Влияние фотосинтеза на атмосферу

Выделенный кислород постепенно накапливался в атмосфере, что повлекло за собой кардинальные изменения биогеохимического цикла и появление озонового слоя.

Динамика содержания кислорода в атмосфере

- 
- 
- Значительный рост кислорода произошёл в период 2,4–2,1 млрд лет назад, связанный с активностью фотосинтезирующих бактерий.
 - Возникновение кислородной атмосферы способствовало развитию аэробных организмов и изменению экосистем.

Палеогеохимические исследования, 2022

Кислородная катастрофа и её влияние



Гибель анаэробных организмов

Резкий рост кислорода привел к массовому вымиранию организмов, не способных переносить кислород, коренным образом изменив биосферу.



Расцвет аэробных бактерий

Организмы, использующие кислород в обмене веществ, приобрели преимущества, что стимулировало их эволюционное развитие и разнообразие.



Формирование озонового слоя

Кислород способствовал накоплению озона, который защитил поверхность Земли от вредного ультрафиолета, открывая путь к развитию наземной жизни.

01

Появление первых эукариот около 2 млрд лет назад ознаменовало появление клеток с ядром и мембранными органеллами.

02

Процесс эндосимбиоза объясняет происхождение митохондрий и хлоропластов из симбиотических бактерий.

03

Эукариоты обладали более сложными метаболическими путями и структурной организацией клеток.

04

Это дало начало развитию разнообразных форм жизни, включая многоклеточные организмы с дифференцированными клетками.

Возникновение эукариот — переход к сложности

Сравнение прокариот и эукариот

- Основные отличия строения и функций клеток двух групп организмов в упрощённой таблице.
- Эукариоты характеризуются большей клеточной сложностью и разнообразием форм по сравнению с прокариотами.

Характеристика	Прокариоты	Эукариоты
Наличие ядра	Отсутствует	Есть оформленное ядро
Размеры клетки	0,1–10 мкм	10–100 мкм
Органеллы	Отсутствуют мембранные	Есть митохондрии, пластиды
Клеточная организация	Только одноклеточные	Одно- и многоклеточные
Размножение	Деление клетки	Деление и половое
Пример	Археи, бактерии	Растения, животные



Появление многоклеточных организмов



Рождение первых многоклеточных: водоросль *Bangiomorpha*

Около 1,2 миллиарда лет назад появилась *Bangiomorpha* — одна из первых многоклеточных водорослей. Она состояла из клеток разных типов, благодаря чему появилось разделение функций и повысилась эффективность жизни.



Деление труда между клетками

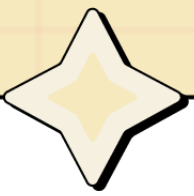
Многоклеточность означала, что клетки могли специализироваться — некоторые обеспечивали питание, другие — защиту. Это повысило шансы выживания организмов в сложных условиях древней среды.



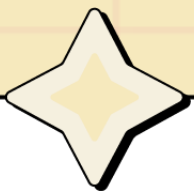
Климатические перемены и их роль в эволюции



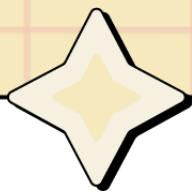
В протерозое Земля пережила многократные ледниковые периоды, включая гипотезу "Земля-снежок", когда планета почти полностью покрывалась льдом.



Температура на планете сильно колебалась, вызывая стресс у живых организмов и стимулируя появление новых защитных адаптаций.



Увеличение содержания кислорода в атмосфере влияло на метаболизм организмов, приводя к большему разнообразию форм жизни.

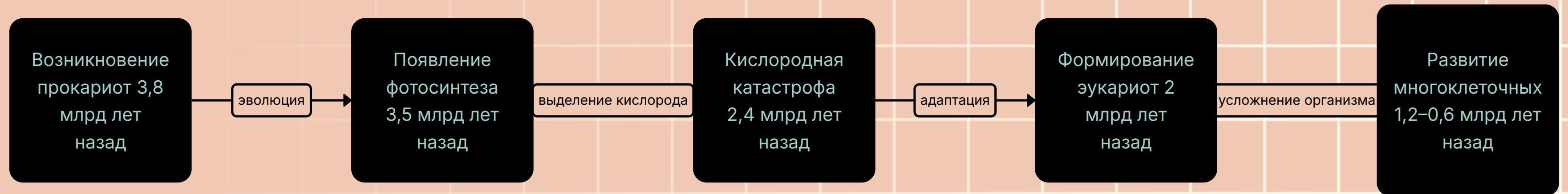


Глобальные климатические изменения вызывали массовые вымирания, но одновременно создавали условия для эволюционного прогресса и освоения новых экологических ниш.

Основные этапы развития жизни (архей–протерозой)



Источники: палеобиология и геохимические исследования



Фотосинтез и зарождение озонового слоя



Вклад цианобактерий в кислородную революцию

Цианобактерии начали использовать солнечный свет для синтеза пищи, выделяя кислород — ключевой газ, изменивший атмосферу Земли и запустивший радикальные преобразования.



Образование озонового слоя

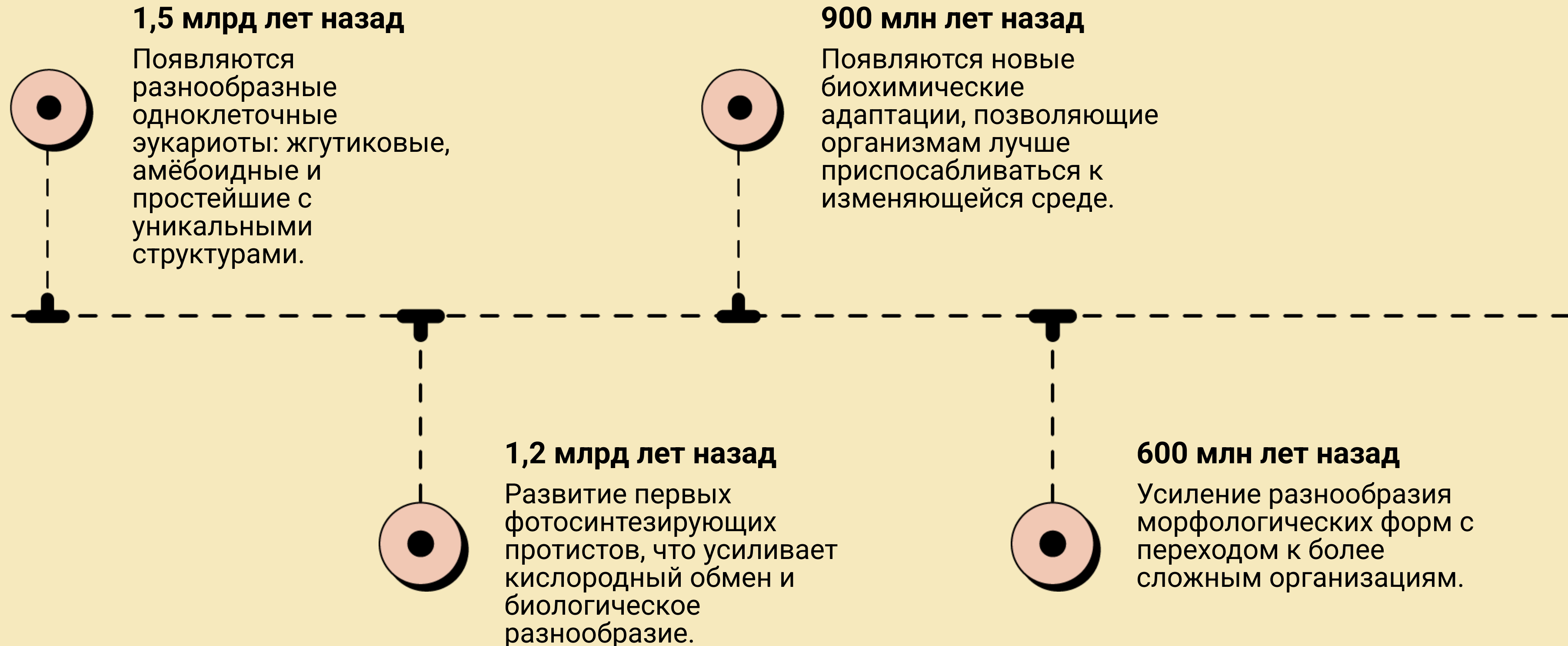
Выделяемый кислород взаимодействовал с ультрафиолетом, что привело к формированию озонового слоя, защищающего живые организмы от вредного космического излучения.



Значение озонового слоя для жизни

Появление озона обеспечило безопасность для организмов на поверхности Земли, позволив им развиваться и осваивать новые среды, включая сушу.

Разнообразие одноклеточных организмов в протерозое



Важные окаменелости: строматолиты и колониальные структуры



Строматолиты — древнейшие следы жизни

Строматолиты возрастом около 3,5 млрд лет представляют собой слоистые образования от колоний цианобактерий, сохранившихся в горных породах как доказательство ранней жизни.



Габонские колонии 2,1 млрд лет назад

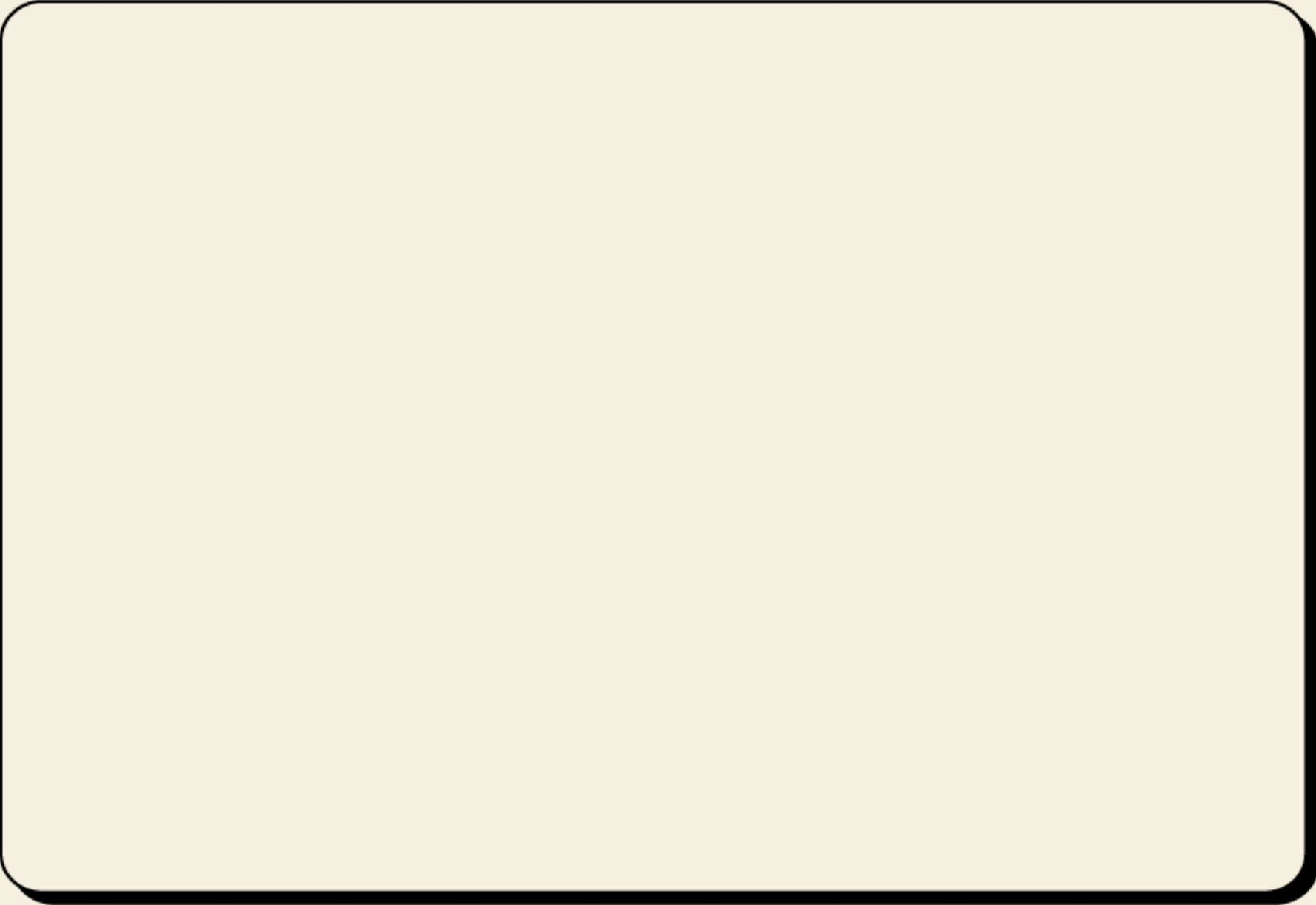
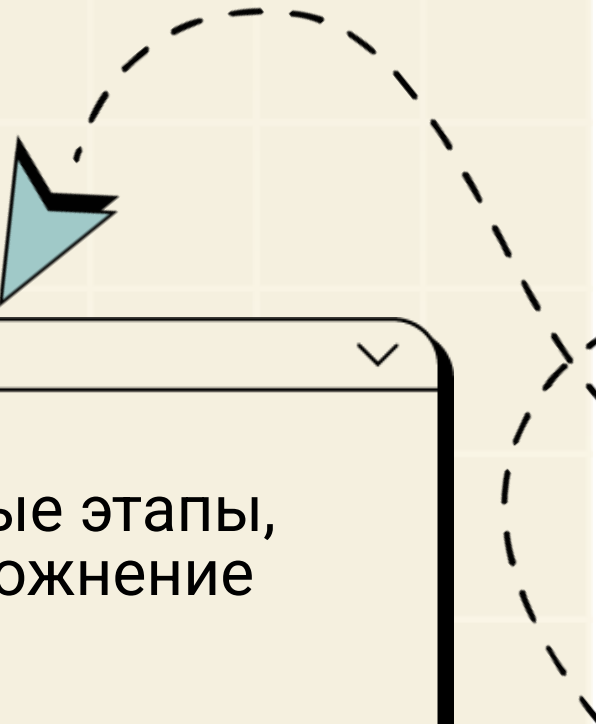
Окаменелости в Габоне считаются остатками первых многоклеточных колоний, показывающих переход к сложным биологическим структурам.



Уникальные музейные экспонаты

Находки строматолитов и колоний выставлены в ведущих музеях мира, иллюстрируя развитие жизни в архейско-протерозойский период.

Временная шкала событий эволюции (архей–протерозой)

- 
- 
- На графике показаны ключевые этапы, отражающие постепенное усложнение жизни на протяжении почти 3 миллиардов лет.
 - Эволюция шла ступенчато: от простейших форм к сложным многоклеточным, что подготовило почву для взрыва разнообразия в форме жизни.

Палеобиологические исследования, 2023

Эдиакарская биота: первые сложные организмы



Dickinsonia — загадочный житель древних морей

Dickinsonia — крупный мягкотелый организм с сегментированным телом, живший в глубоких водах. Эта древняя форма представляет ранние попытки сложного строения.



Spriggina — ранний обитатель морской среды

Spriggina обладала более сложной структурой с головой и сегментами, что намекает на зачатки организации будущих животных.



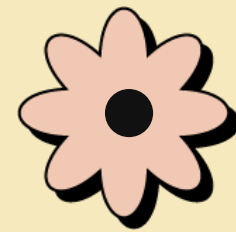
Charniodiscus — первая экосистемная составляющая

Этот мелкий организующий элемент эдиакарской биоты создавал основу экосистемы, показывая усложнение жизни перед кембрием.

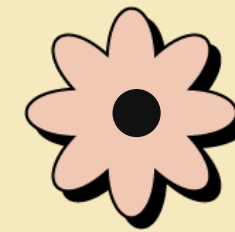
Вклад архейской и протерозойской эпох в биосферу



Формирование кислородного фотосинтеза у прокариот изменило атмосферу и открыло возможности для аэробного дыхания.

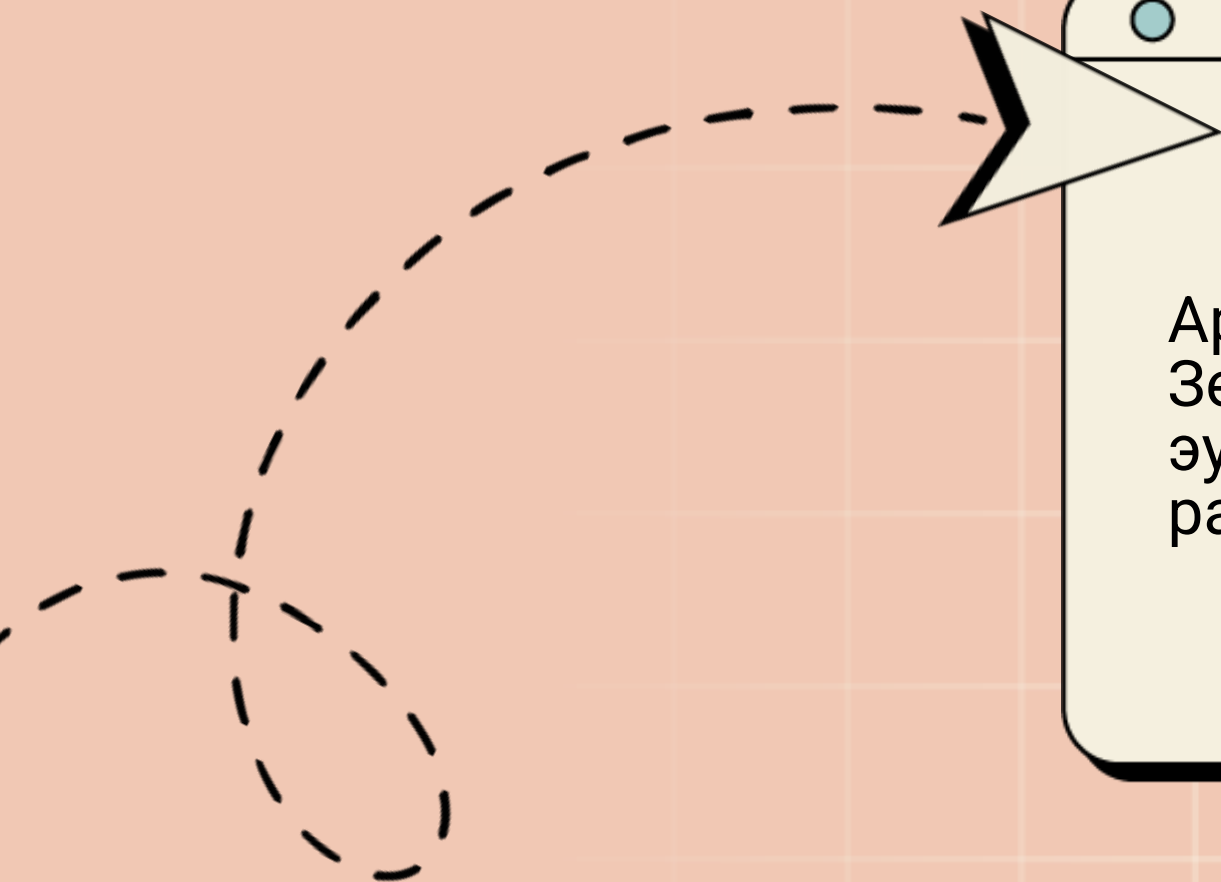


Появление эукариот и многоклеточности заложило основу для сложных организмов и разнообразных экосистем.



Эти эпохи подготовили условия современной атмосферы и океанов, обеспечив основу для будущего биологического разнообразия.

Ключевые этапы эволюции Земли: от жизни к современному миру



Архей и протерозой заложили фундамент жизни на Земле, сформировали кислородную атмосферу, эукариоты и многоклеточность стали основой для разнообразия современных экосистем.

