

Геологическое время и его измерение

История Земли читается в породах, ископаемых и изотопах.

Почему геологическое время важно для биологии?

/2



Без геологической шкалы невозможно понять, когда возникали и исчезали группы организмов, как менялись климат и среда, и почему эволюция шла неравномерно.

Основные единицы геохронологической шкалы

/3

Иерархия времени

Геохронологическая шкала строится по принципу вложенных интервалов: зоны объединяют крупнейшие этапы, а внутри них выделяют эры, периоды, эпохи и века.



Крупнейшие зоны

В истории Земли выделяют архей, протерозой и фанерозой. Первые два охватывают почти всю древнюю историю планеты, а фанерозой связан с богатой летописью жизни.



Строение фанерозоя

Фанерозой делится на палеозой, мезозой и кайнозой. Эти эры отражают крупные перестройки биосферы, континентов и климата на суше и в океанах.



Как ставят границы

Переходы между подразделениями определяют по изменениям в породах, смене ископаемых сообществ и событиям планетарного масштаба, например вымираниям или резким климатическим переломам.



Зачем нужна шкала

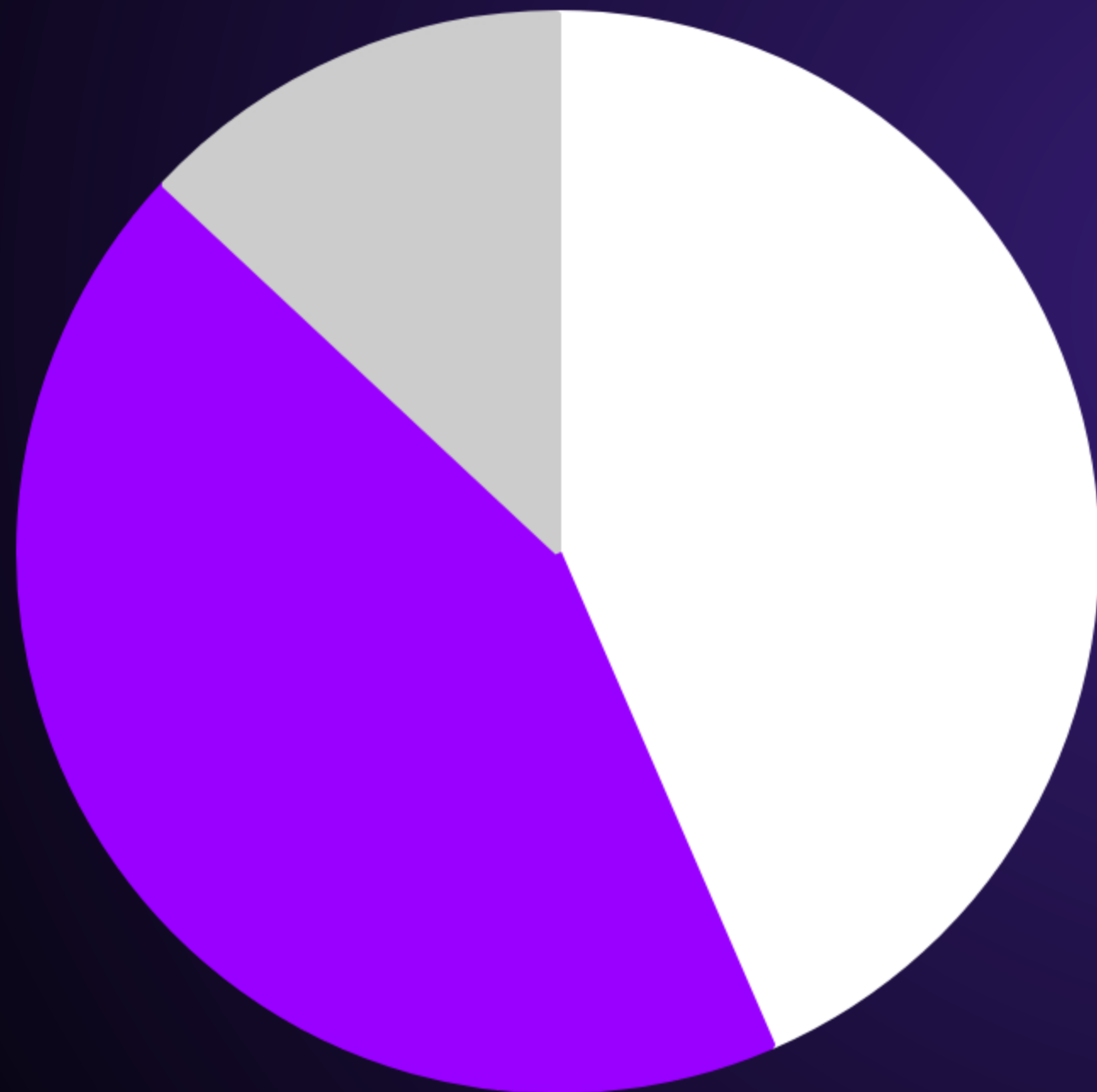
Такая система позволяет сопоставлять события, происходившие в разных регионах Земли, и точно размещать их в общей последовательности геологической истории.



Соотношение основных эонов в истории Земли

/4

Архей Протерозой Фанерозой



На фоне этих масштабов особенно заметно, что вся видимая сложная жизнь — очень недавнее явление.

Большая часть истории планеты пришлась на древнейшие эоны; биологическое разнообразие расцвело лишь в кратком фанерозое.

Обобщение по геохронологической шкале ICS

Геологическая летопись в слоях пород

/5



Последовательное накопление

Осадочные толщи формируются слой за слоем, поэтому каждая новая пачка пород фиксирует отдельный этап существования древнего бассейна, реки, моря или пустыни.

Следы среды обитания

По составу и текстуре слоёв можно судить о вулканизме, размыве, засушливости или заболоченности территории, а также о смене условий осадконакопления.

Ископаемые свидетельства

Окаменелости, отпечатки, раковины и углистые прослои помогают восстановить состав древних сообществ и понять, какие организмы жили в конкретное время.

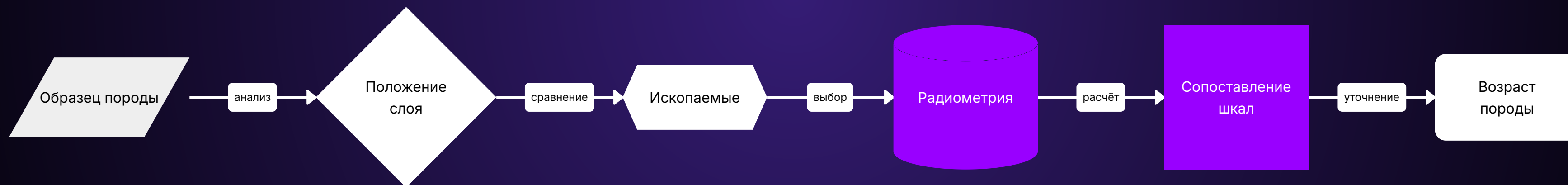
Нарушения в разрезе

Несогласия, размывы и деформации показывают, что геологическая история не была непрерывной: в ней были перерывы, поднятия и последующее перекрытие породами новых слоёв.

Последовательность определения возраста пород

/6

Схема объединяет полевые наблюдения, палеонтологические данные и лабораторные измерения.



Методы датирования и их возможности

/7

Метод	Что измеряет	Предел
Радиоуглеродный	^{14}C	до 50 тыс. лет
U–Pb	U/ Pb	миллиарды лет
K–Ar	K/ Ar	вулканы
Стратиграфия	слои	относит. возраст

International Commission on Stratigraphy

Сравнение показывает, что разные методы решают разные задачи: одни дают абсолютный возраст, другие — только последовательность событий.

Для молодых органических остатков и очень древних пород нужны разные методы; наиболее надёжна их комбинация.

Относительное датирование и закон напластования

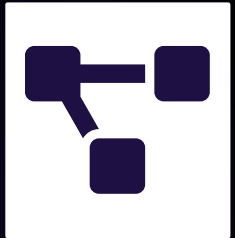
/8

Нижние слои старше



В ненарушенной толще породы накапливаются последовательно, поэтому более глубокие слои обычно древнее тех, что лежат выше.

Пересекающие тела моложе



Жилы, разломы и интрузии формируются позже тех пород, которые они пересекают, поэтому помогают восстановить порядок геологических событий.

Индексные ископаемые



Аммониты, трилобиты и граптолиты служат хорошими ориентирующими формами: по ним сопоставляют удалённые разрезы и уточняют относительный возраст.

Когда методов мало



Относительное датирование особенно полезно в полевых исследованиях, если образец нельзя сразу проверить радиометрически или требуется быстрое сопоставление слоёв.

Радиометрическое датирование и период полураспада

/9



Как «часы» работают в минерале

Радиоактивные изотопы в кристалле распадаются с известной скоростью, а соотношение материнских и дочерних элементов позволяет вычислить время, прошедшее с момента образования минерала. Именно так геологи получают абсолютный возраст с высокой точностью.

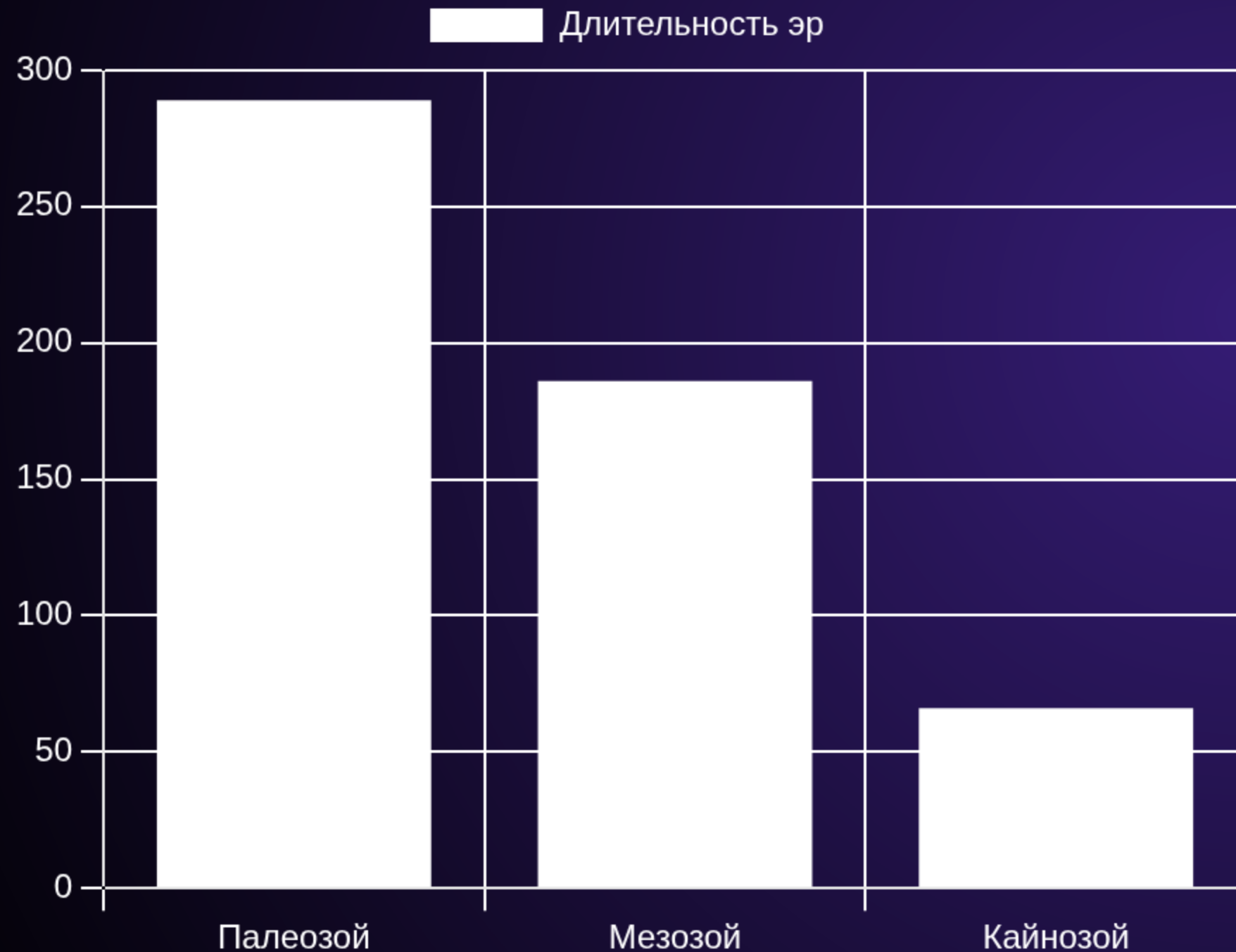


Методы для разных эпох

Для очень древних пород особенно важны уран-свинцовые системы, а для вулканических слоёв — калий-аргоновый и аргон-аргоновый методы. Они опираются на разные изотопные пары, но используют один и тот же принцип распада.

Длительность эр фанерозоя

/10



Рубежи между эрами совпали с крупными кризисами биосферы, поэтому их удобно изучать вместе с эволюцией организмов.

Палеозой был самым продолжительным, а кайнозой — самым коротким; именно в нём развились современные экосистемы и человек.

Геохронологическая шкала ICS

Эта граница показывает, что даже длительная эра ^{/11} может закончиться быстрым и глубоким кризисом биосферы.

252 млн лет назад

завершилось крупнейшим пермским вымиранием, резко изменившим состав морских и наземных экосистем.

Международная стратиграфическая шкала ICS

Мезозой: эра динозавров и распада Пангеи

/12

01 Триас: восстановление после кризиса

После пермского вымирания экосистемы постепенно восстановились. На суше появились первые динозавры и ранние млекопитающие, а суперконтинент Пангея ещё сохранял целостность.

Юра: господство динозавров

02

Климат стал более тёплым и влажным, Пангея распадалась, а крупные динозавры заняли главные экологические ниши. В это же время появились первые птицы.

03 Мел: новая биота и конец эры

Распространились цветковые растения, а материки продолжали удаляться друг от друга. Мелово-палеогеновое вымирание около 66 млн лет назад завершило мезозой и открыло путь к расцвету млекопитающих.

Кайнозой: эпоха млекопитающих и человека

/13



Быстрая радиация млекопитающих

После мелового вымирания освободилось множество экологических ниш, и млекопитающие быстро увеличили разнообразие форм, размеров и способов питания.



Ледниковые циклы

В кайнозое усиливались колебания климата, формировались ледниковые эпохи, а чередование похолоданий и потеплений заметно влияло на расселение организмов.



Современный облик птиц

Птицы не только пережили кризис на границе мела и палеогена, но и стали одной из самых успешных групп позвоночных в новых условиях.



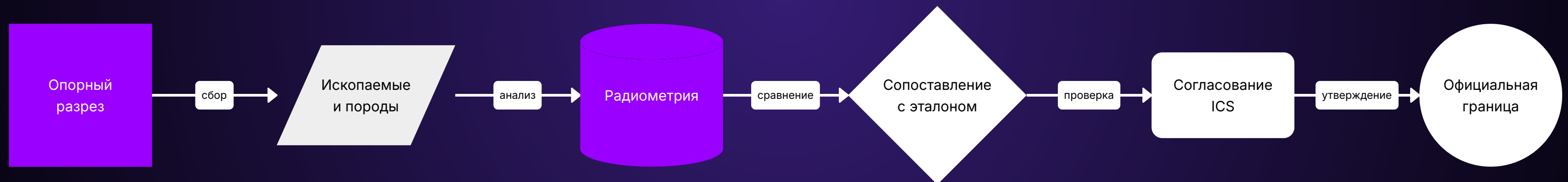
Появление человека

В позднем кайнозое возникли древние гоминины, а *Homo sapiens* существует лишь краткий миг по сравнению с возрастом Земли и всей истории жизни.

Как уточняют границы геологического времени

/14

Границы устанавливают по опорным разрезам, ископаемым, радиометрическим данным и международному согласованию в рамках ICS.



Ключевые события истории Земли

Время	Событие	Значение
4,54 млрд лет	Формирование Земли	Начало истории планеты
2,4 млрд лет	Кислородная революция	Рост O ₂ и озона
541 млн лет	Кембрийский взрыв	Бурный рост разнообразия
252 и 66 млн лет	Крупные вымирания	Перестройка биосферы

Главные рубежи показывают, что самые важные изменения происходили неравномерно: между ними лежали очень долгие интервалы относительной стабильности.

Геологическая история строится вокруг редких переломов, которые резко меняли атмосферу, климат и состав живых организмов.

Международная стратиграфическая шкала ICS

Кислородная революция и изменение атмосферы

/16

01 Рост кислорода

Около 2,4 млрд лет назад фотосинтезирующие цианобактерии начали накапливать в океанах и атмосфере свободный кислород, изменив химические условия всей планеты.

Новые возможности жизни

Повышение содержания кислорода сделало возможным более эффективное аэробное дыхание, а значит, и появление организмов с гораздо более высоким уровнем обмена веществ.

02

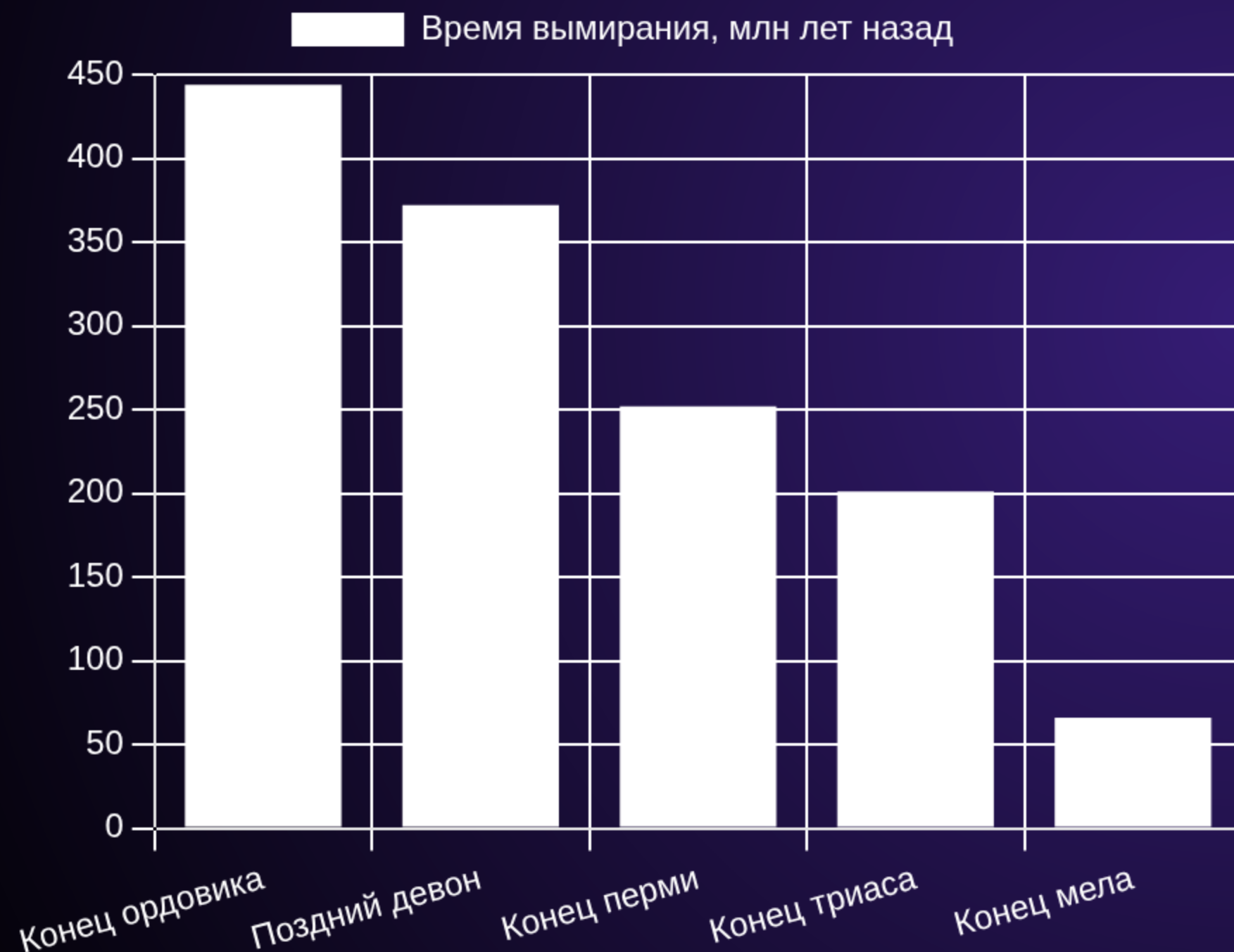
03 Защита от ультрафиолета

Одновременно сформировался озоновый экран, который ослабил жёсткое ультрафиолетовое излучение и создал более благоприятные условия для дальнейшей эволюции жизни.



Массовые вымирания как границы геологического времени

/17



Эти рубежи помогают связать изменения в ископаемой летописи с крупными кризисами среды и проследить, как быстро исчезали и заменялись целые сообщества.

Самый древний и самый мощный кризис среди показанных — пермский; меловое вымирание, напротив, стало стартом для новой эры доминирования млекопитающих.

International Commission on Stratigraphy (ICS),
актуальная геохронологическая шкала

Геологическое время и современная эпоха

/18

Летопись продолжается



Осадконакопление, выветривание и тектонические процессы идут и сегодня, поэтому современная поверхность Земли тоже становится частью будущей геологической летописи.

Человек как геологический фактор



Строительство, добыча ресурсов, изменение земель и выбросы в атмосферу уже заметно влияют на рельеф, химический состав среды и состав биосферы.

Изменение климата

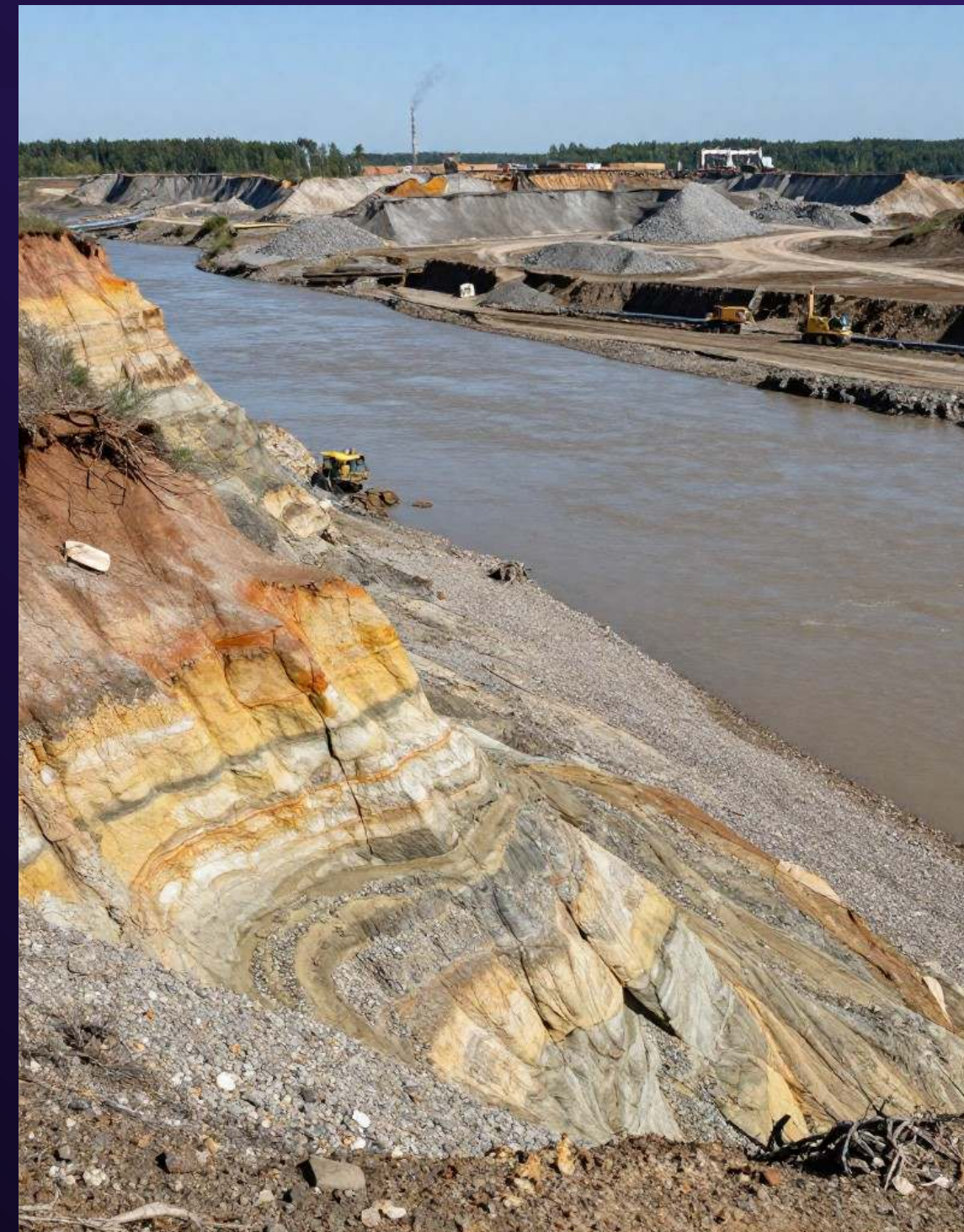


Быстрые климатические сдвиги отражаются в ледниках, морском уровне и распределении видов, а их следы будут считываться в породах будущими исследователями.

Антропоцен как дискуссия



В науке обсуждают антропоцен как возможную новую единицу времени, подчёркивая масштаб человеческого воздействия, хотя его формальное признание остаётся предметом споров.



Практическое значение геологической шкалы

/19

Поиск ресурсов

Понимание возраста пород помогает находить месторождения угля, нефти, газа и руд, а также точнее прогнозировать, где могут встречаться перспективные залежи.

Реконструкция прошлого

Геохронологическая шкала позволяет сопоставлять разрезы из разных регионов и восстанавливать, как менялись моря, материки, климат и живые организмы.

Оценка природных рисков

Знание истории вулканизма, тектоники и резких климатических перемен помогает лучше понимать зоны опасности и интерпретировать современные геологические процессы.

Масштаб времени

Главный вывод прост: человеческая история очень коротка по сравнению с геологическим временем, поэтому многие природные изменения требуют долгого наблюдения.

Земля читается как книга времени

Геологическая шкала соединяет породы, ископаемые и радиометрическое датирование в единую картину. Она помогает увидеть, как редкие переломы и длительные этапы сформировали современную Землю и её биосферу.