18+

Александр Капитонов

Когда жизнь начиналась заново

Массовые вымирания и революции
в истории Земли

Александр Капитонов

Когда жизнь начиналась заново. Массовые вымирания и революции в истории Земли

https://litres.ru/74900757
ISBN 9785007167888

Аннотация

Вымирание — не конец. После каждого кризиса жизнь не начиналась заново, она перестраивалась: исчезали одни группы, приходили другие, рушились старые связи и возникали новые. Книга разбирает массовые вымирания от Эдиакарского до современного и показывает, как катастрофа становится точкой перестройки.

Современный человек — единственный, кто способен осознать, что сам же и вызывает вымирание. Кризис уже идёт, и вопрос не в том, будет ли он, а в том, что мы успеем сделать.

Содержание

О чём и зачем эта книга 6
Зачем разбираться в вымираниях 18
Древнейшие кризисы 35
Эдиакарское вымирание (~550—540 млн лет назад) 35
Ордовикско-силурийское вымирание (~445 млн лет назад) 63
Девон и Пермь 89
Позднедевонское вымирание (~372 млн лет назад) 89
Карнийское вымирание (~232 млн лет назад) 117
Конец ознакомительного фрагмента. 126

Когда жизнь начиналась заново Массовые вымирания и революции в истории Земли

Александр Капитонов

© Александр Капитонов, 2026

ISBN 978-5-0071-6788-8
Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Мы привыкли думать, что катастрофа — это конец. Что после неё остаётся пустота, и жизнь начинается с нуля, будто до неё ничего не было. Но палеонтологическая летопись говорит другое: после каждого кризиса жизнь не начиналась заново — она перестраивалась. Исчезали одни группы, приходили другие, рушились старые связи и возникали новые, и система выходила из кризиса не такой, какой была до него. Это не утешение и не оправдание катастрофы. Это описание того, как рабо-

тает сложная система, у которой есть пороги, обратные связи и способность к перестройке. И если это верно для биосферы, то это верно и для нас: человек, который вызвал нынешний кризис, — первая причина вымирания, способная его осознать.

Кризис уже начался…

И вопрос не в том, будет ли он. Вопрос в том, что мы успеем сделать, пока он идёт

О чём и зачем эта книга

Когда читаешь о массовых вымираниях, почти всегда рассказ строится одинаково: сначала причина — астероид, вулканы, изменение климата, — потом список погибших, а в самом конце несколько строк о том, что жизнь восстановилась. Восстановление всегда идёт по касательной, как будто оно менее важно, чем сама гибель. Но если присмотреться к палеонтологической летописи внимательнее, видно, что после каждого кризиса на Земле появлялись новые доминирующие группы, а иногда и целые новые типы животных. Катастрофа и обновление оказываются не двумя разными сюжетами, а одним, просто рассказанный с перекосом в сторону потерь. Эта книга выправляет перекос и ставит обе половины процесса на равные права.

Речь пойдёт не о метафорах, а о конкретных событиях, у которых есть даты, причины и последствия. Эдиакарское вымирание, случившееся около 550—540 миллионов лет назад, ордовикско-силурийское, позднедевонское, карнийское, великое пермское, триасово-юрское, мел-палеогеновое, эоцен-олигоценовое, среднемиоценовое и, наконец, голоценовое, которое идёт прямо сейчас, — каждое из них разбирается отдельно. Для каждого важно понять три вещи: что именно исчезло, почему это произошло и кто занял освободив-

шиеся места. Без этих трёх вопросов разговор превращается в перечисление названий и дат, а с ними становится понятной логика, по которой биосфера перестраивается через кризисы.

Главная мысль книги проста, хотя следствия из неё далеко не очевидны: вымирание — это не только потеря, но и механизм смены. Когда исчезают доминирующие группы, освобождаются экологические ниши, и на них приходят другие организмы, часто те, что до кризиса влачили незаметное существование. Иногда это приводит к взрывному росту разнообразия, иногда — к долгому и трудному восстановлению, но в любом случае состав жизни после кризиса не возвращается к прежнему состоянию. Система выходит на новую организацию, и именно в этом смысле вымирание работает как революция. Не в политическом смысле, а в системном: старая конфигурация разрушается, новая собирается на её месте.

Второй сквозной мотив книги — взгляд на биосферу как на целостную систему. У неё есть обмен веществ, то есть круговороты углерода, азота и других элементов, есть устойчивость и есть пороги, за которыми система теряет прежние свойства. Массовые вымирания в этой оптике выглядят не как случайный сбой, а как кризисы перестройки, через которые система проходит. Аналогия с организмом здесь полез-

на, но требует дисциплины: у биосферы нет психики, нет цели и нет субъекта переживания. Метафора работает как инструмент, помогающий увидеть стадийность и общие закономерности, и там, где она ломается, книга это оговаривает.

Третий мотив — аналогия с психологическими кризисами человека. Психологический кризис — это не просто «плохо», а период, когда прежние способы существования перестают работать и человек вынужден перестраиваться. У такого периода есть стадии: накопление напряжения, острый момент, распад прежних структур, поиск нового и выход на другую организацию. В истории биосферы прослеживается похожая последовательность: экологический стресс накапливается, наступает острый период массового вымирания, рушатся прежние доминанты, выжившие осваивают освободившиеся места, система выходит на новый уровень разнообразия. Аналогия помогает увидеть, что кризис нельзя оценивать только как потерю: у него есть цена, но есть и приобретение, и сходство здесь точное в части стадийности и перестройки, а не в наличии переживания.

Книга разбирает события по порядку, от древнейших до современного. Список открывает эдиакарское вымирание, когда исчезла большая часть мягкотелых организмов, не похожих ни на что современное, а на их место пришли животные с твёрдым скелетом. Затем идёт ордовикско-силурий-

ское вымирание, связанное с оледенением и падением уровня моря, за ним — позднедевонское, обрушившее рифовые экосистемы, и карнийское, после которого динозавры получили шанс стать доминирующей группой. Отдельная глава посвящена великому пермскому вымиранию, самому крупному в истории, когда исчезло до 96% морских и около 70% наземных видов. Такой порядок задаёт структуру первой половины книги и позволяет видеть хронологию, а не набор разрозненных случаев.

Продолжение списка связано с мезозоем и кайнозоем. Триасово-юрское вымирание привело к тому, что динозавры стали главными животными суши на десятки миллионов лет, а мел-палеогеновое уничтожило всех нептичьих динозавров, а также плезиозавров, мозазавров и птерозавров, после чего млекопитающие и птицы заняли освободившиеся места. Затем идут два менее известных, но важных события: эоцен-олигоценовое вымирание, связанное с похолоданием и образованием антарктического ледника, и среднемиоценовое, вызванное ростом ледников и изменением циркуляции океана. Завершает список голоценовое вымирание, которое идёт прямо сейчас и главной причиной которого стал человек. Такой порядок показывает, что кризисы различаются по глубине и длительности, но каждый из них менял состав жизни.

Отдельное место занимает вопрос о причинах. В литературе обычно спорят, что сыграло главную роль: астероид, вулканизм, климат или что-то ещё, но книга показывает, что почти никогда не действует одна причина. В пермском вымирании решающую роль сыграли извержения Сибирских траппов, но их последствия — потепление, закисление океана, разрушение озонового слоя — работали вместе, и отделить одно от другого невозможно. В мел-палеогеновом вымирании астероид совпал с вулканизмом Деканского плато, и спор о том, что важнее, длится до сих пор. Даже там, где внешний триггер очевиден, исход зависит от того, насколько уязвимой была система до него, поэтому причины разбираются не как список, а как сочетание факторов.

Не менее важен вопрос, почему одни группы гибнут, а другие выживают. Специализация, размер, скорость размножения и размер ареала — всё это влияет на шансы пережить кризис, и закономерность здесь довольно устойчивая: организмы, приспособленные к узким условиям, обычно проигрывают тем, кто способен существовать в широком диапазоне, а крупные животные с медленным размножением оказываются уязвимее мелких и быстро размножающихся. Но выживание не всегда связано с «лучшей приспособленностью»: часто решает удача, то есть оказался ли организм в нужном месте в нужное время. Эта глава показывает, что у вымираний есть избирательность, и она не совпадает с привычными

представлениями о силе и слабости.

Системный взгляд требует отдельного разговора о том, как связаны геосфера и биосфера. Тектоника, вулканизм и климат выступают триггерами кризисов, но и сама жизнь влияет на планету: кислородная революция, микробные маты, рифы — всё это меняло химию океана и атмосферы. Жизнь и планета находятся в постоянной коэволюции, и вымирание оказывается одним из узлов этой связи. Понять кризис без учёта геологии невозможно, но и геологию без учёта жизни понять нельзя. Эта двусторонняя связь — ключ к тому, почему вымирания встроены в работу биосферы, а не являются чем-то внешним по отношению к ней.

В книге есть часть, посвящённая вопросу, можно ли обойтись без вымираний. На первый взгляд ответ очевиден: чем меньше потерь, тем лучше, но у сложных систем есть свойство, которое психологи называют необходимостью перестройки: без этапов кризиса система накапливает хрупкость. В палеонтологической летописи это видно по тому, что периоды стабильности рано или поздно заканчиваются кризисом, а после кризиса разнообразие не просто восстанавливается, а выходит на новый уровень. Вопрос не в том, хороши ли кризисы, а в том, при каких условиях они необходимы, а при каких их можно смягчить или заменить постепенной перестройкой. На этот вопрос нет простого ответа, и книга

не делает вид, что он есть.

Завершает книгу разговор о современном вымирании. Оно идёт прямо сейчас, и его главная причина — человек: охота, разрушение местообитаний, инвазивные виды, изменение климата. Древние кризисы кажутся далёкими и законченными, но голоценовое вымирание — такое же событие, только незавершённое, и это меняет оптику: прошлое перестаёт быть музейным экспонатом и становится способом понять, что происходит с нами. Книга не предсказывает будущее, но показывает, как читать прошлое, чтобы не смотреть на настоящее с закрытыми глазами. Поэтому современное вымирание разбирается на тех же правах, что и пермское или мел-палеогеновое.

Важно оговорить, чем эта книга не является. Она не учебник и не справочник: здесь нет полного перечня всех вымираний и всех гипотез. Она не пытается доказать, что кризисы полезны, и не призывает к пассивности перед лицом современного вымирания. Она не превращает биосферу в живое существо с намерениями и не объясняет историю жизни через мистику. Её задача скромнее: показать, как устроены кризисы и почему после них жизнь становится другой. Если после чтения читатель начнёт видеть в вымираниях не только потери, но и механизм, задача будет выполнена.

Структура книги следует за вопросами, а не за хронологией ради хронологии. Сначала разбираются конкретные события — от эдиакарского до мел-палеогенового, затем менее известные кризисы кайнозоя, затем механизмы: причины, избирательность, системность. После этого идёт вопрос о том, можно ли обойтись без вымираний, и аналогия с психологическими кризисами. Завершают книгу современное вымирание и разговор о том, что можно и чего нельзя с ним сделать. Такая последовательность позволяет сначала накопить материал, а потом перейти к обобщениям, не подменяя факты схемами.

Хронология в книге важна, но не самодостаточна. Даты нужны, чтобы видеть порядок событий и их связь с геологическими процессами: движением материков, вулканизмом, изменением климата. Без дат разговор превращается в набор баек, а с датами становится историей, у которой есть причины и следствия. При этом книга не требует от читателя запоминать миллионы лет: достаточно держать в голове общую последовательность. Даты приводятся, чтобы можно было вернуться к ним при необходимости, а не чтобы устроить экзамен.

Одна из задач книги — вернуть вымираниям их сложность. В массовой культуре они часто сводятся к одному событию: астероид убил динозавров, и на этом всё. Но за этим

событием стоит долгая история: как динозавры стали доминирующей группой, какие группы они вытеснили, что происходило с экосистемами до и после удара. Сложность не отменяет драмы, но делает её понятной. Читатель, который увидит механизм, перестанет воспринимать вымирания как случайные капризы природы. Он увидит систему, в которой катастрофа и обновление связаны.

Ещё одна задача — показать, что вымирания различаются по масштабу и характеру. Пермское вымирание уничтожило почти всю морскую жизнь, а мел-палеогеновое — всех нептичьих динозавров, но морские экосистемы пострадали меньше. Эоцен-олигоценовое вымирание было медленным и связано с климатическим сдвигом, а мел-палеогеновое — быстрым и связанным с ударом. Эти различия важны: они показывают, что «вымирание» — не единый процесс, а класс событий с разными механизмами. Книга не пытается свести их к одной схеме, а показывает, чем они отличаются и что у них общего.

Отдельно стоит сказать о том, как в книге используются аналогии. Аналогия с организмом и с психологическим кризисом полезна, но у неё есть границы. Биосфера не чувствует, не выбирает и не имеет цели; человек, переживающий кризис, чувствует, выбирает и ставит цели. Поэтому аналогия работает на уровне стадий и механизмов перестройки,

а не на уровне переживания. Книга постоянно оговаривает, где сходство точное, а где оно остаётся метафорой. Это не ослабляет аргумент, а делает его честнее: читатель видит, что ему предлагают инструмент, а не веру.

Книга написана для читателя, который хочет понять, а не просто узнать. Она не упрощает материал до уровня сказки, но и не требует специальных знаний. Термины вводятся по мере необходимости и объясняются, сложные места разбираются на примерах. При этом автор не боится оставить вопрос открытым, если наука не даёт однозначного ответа. Читатель увидит, что палеонтология — живая область знания, где есть споры, гипотезы и нерешённые проблемы. Это не недостаток книги, а её достоинство: она показывает науку в работе, а не в виде готовых истин.

История вымираний — это история о том, как жизнь переживает кризисы и выходит из них изменённой. В этом смысле она ближе к опыту каждого, чем кажется. Люди проходят через кризисы и выходят другими; биосфера проходит через вымирания и выходит другой. Сходство не в переживании, а в структуре: распад, поиск, новая организация. Книга держится за эту структуру, потому что она позволяет говорить о прошлом и настоящем на одном языке. Без неё остаются либо сухие даты, либо пустые метафоры.

Язык книги — часть аргумента. Если писать о кризисах языком катастрофы, читатель унесёт страх; если писать языком системы, он унесёт понимание. Книга выбирает второе, не скрывая масштаба потерь. Пафос здесь неуместен, потому что он заменяет мысль. Точность важнее эффекта, и это сознательная позиция, а не стилистическая случайность. Читатель должен уйти с инструментом, а не с впечатлением.

Понимание механизмов вымирания нужно не только для удовлетворения любопытства. Оно нужно для охраны природы, для восстановления экосистем, для оценки рисков. Если не знать, как устроены кризисы, легко выбрать стратегию, которая делает хуже. Книга не даёт рецептов, но даёт рамку, без которой рецепты превращаются в гадание. Это ещё одна причина, по которой механизм важнее драмы.

Книга возвращает вымираниям их место в истории жизни. Они не были случайными капризами природы и не были наказанием. Они были частью процесса, в котором жизнь меняла конфигурацию и продолжала существовать. Понимание этого меняет взгляд не только на прошлое, но и на будущее. Если кризисы встроены в работу биосферы, то и современный кризис нужно рассматривать как часть системы, а не как внешнюю аномалию. Это не утешение, а трезвость.

Наконец, книга — это попытка говорить о вымираниях

без двух крайностей: без ужаса, который парализует мысль, и без равнодушия, которое её отменяет. Ужас и равнодушие — две формы отказа видеть механизм. Книга предлагает третий путь: смотреть на кризисы как на процесс, у которого есть причина, стадии и последствия. Тогда прошлое становится понятным, а настоящее — хотя бы отчасти предсказуемым. Это не гарантирует правильных решений, но делает их возможными.

Читатель, который пройдёт весь путь — от эдиакарского вымирания до голоценового, — увидит в кризисах не только потери, но и смену режима. Это не отменяет трагедии: гибнут виды, гибнут экосистемы, и никакая системная рамка этого не оправдывает. Но трагедия, у которой понятен механизм, перестаёт быть хаосом. С ней можно работать: прогнозировать, смягчать, готовиться к тому, что будет после. Именно в этом и состоит задача книги — не утешить и не напугать, а дать инструмент для понимания. Если читатель закроет последнюю страницу с этим инструментом, значит, всё было не зря.

Зачем разбираться в вымираниях

Любая книга о прошлом начинается с вопроса, зачем вообще в это прошлое смотреть, и палеонтология здесь не исключение. Динозавры вымерли, трилобиты вымерли, и никому из нас не доведётся увидеть их живыми, так что если смотреть на историю Земли как на музей, где пылятся скелеты, то изучение вымираний превращается в коллекционирование древностей. Но у палеонтологии есть другая сторона, которая важнее коллекционирования: она позволяет увидеть биосферу в работе, а не в виде готовой витрины. Массовые вымирания — это моменты, когда биосфера перестраивается на глазах, и именно по ним можно понять, как устроен механизм перестройки вообще. Поэтому введение нужно не для того, чтобы пересказать содержание книги, а для того, чтобы договориться об угле зрения и о том, что из него видно, а что остаётся за кадром.

Первое, с чем придётся разобраться, — это само слово «вымирание», потому что в бытовом языке и в палеонтологии оно означает не совсем одно и то же. В бытовом языке вымирание — это исчезновение чего-то навсегда: вид был, и его не стало. В палеонтологии у этого слова более узкий смысл: исчезновение таксона, то есть группы организмов, которую учёные выделяют по общим признакам, и таксон

может быть видом, родом или семейством, так что масштаб всегда разный. Когда говорят, что «вымерли динозавры», имеют в виду нептичьих динозавров как группу, а не всех животных, которые жили в мезозое, и такая оговорка нужна, потому что без неё разговор теряет точность. Если не договориться о слове сразу, дальше любое утверждение о вымираниях будет висеть в воздухе, и читатель не поймёт, о каком именно масштабе идёт речь. Поэтому книга начинается с терминов, а не с сенсаций.

Второе различение касается темпа, и оно не менее важно, чем первое. Виды исчезают постоянно, это фон, и фоновое вымирание — нормальная часть эволюции, без которой не было бы ни смены фаун, ни появления новых групп. Массовое вымирание начинается там, где скорость исчезновения резко превышает фоновую, и превышение это не на проценты, а в разы, а иногда и в десятки раз. Именно скорость, а не абсолютное число погибших видов, отличает кризис от обычной убыли, потому что медленное исчезновение группы, растянутое на миллионы лет, — это не массовое вымирание, даже если в итоге группа исчезла полностью. Палеонтологи спорят о порогах и критериях, но общий принцип ясен: массовое вымирание — это событие, а не процесс, и событие это измеряется в геологически коротких интервалах.

Третье различение — избирательность, и оно объясняет,

почему вымирания вообще можно изучать, а не только оплакивать. Массовое вымирание почти никогда не убивает всех подряд: оно бьёт по определённым группам, и по тому, какие группы пострадали, можно судить о механизме кризиса. Если гибнут в основном крупные животные с медленным размножением, вероятно, дело в резком изменении среды, к которому такие организмы не успевают приспособиться. Если гибнут в основном морские организмы с известковым скелетом, вероятно, дело в закислении океана, которое растворяет раковины быстрее, чем организмы успевают их строить. Избирательность — это след, по которому восстанавливают причину, и поэтому ей в книге уделено отдельное место, а не несколько беглых замечаний.

От избирательности разговор естественно переходит к причинам, и здесь популярная литература часто подводит читателя. В популярных книгах обычно ищут одного виновника: астероид, вулканы, климат, — и на этом успокаиваются, как будто одного виновника достаточно для объяснения. Но палеонтологическая летопись показывает, что почти никогда не действует одна причина. В пермском вымирании решающую роль сыграли Сибирские траппы, но убивали не сами излияния, а их последствия: потепление, закисление океана, разрушение озонового слоя. В мел-палеогеновом вымирании астероид совпал с вулканизмом Деканского плато, и отделить вклад одного от вклада другого до сих пор не уда-

ётся, сколько бы ни спорили. Причины работают как система, и разбирать их нужно системно, а не как список подозреваемых.

Системность — это не украшение, а требование метода, без которого разговор о причинах превращается в гадание. Биосфера состоит из множества связей: одни организмы зависят от других, все вместе зависят от химии океана и атмосферы, а химия зависит от геологических процессов, которые идут независимо от жизни. Кризис в одной части системы распространяется по связям и может усилиться в другой части, так что малое возмущение иногда даёт большой эффект, а большое возмущение иногда гасится. Поэтому вопрос «что убило динозавров» имеет смысл только вместе с вопросом «как устроена система, в которой динозавры жили», и без второго вопроса первый превращается в поиск виноватого. Именно поэтому книга движется от событий к механизмам, а не наоборот.

Отсюда вытекает взгляд на биосферу как на целостную систему, и этот взгляд — один из сквозных мотивов книги. У биосферы есть круговороты вещества, обратные связи и пороги, за которыми система теряет прежние свойства и приобретает новые. Массовое вымирание — это переход через порог: до порога система гасит возмущения, после — перестраивается, и вернуться в прежнее состояние она уже не мо-

жет. Такой взгляд объясняет, почему мелкие кризисы проходят почти незаметно, а крупные меняют облик планеты: всё дело в том, насколько близко система подошла к порогу и сколько у неё осталось запаса устойчивости. Это уже не метафора, а описание механики, и в книге оно разбирается на конкретных примерах.

Аналогия с организмом помогает увидеть в биосфере единое целое, но у неё есть границы, которые нужно оговорить сразу. Организм имеет центр, цель и границы; биосфера не имеет ни того, ни другого, ни третьего, и приписывать ей намерения было бы ошибкой. У биосферы нет стремления выжить, нет стремления к равновесию, нет субъекта, который принимал бы решения, — есть только связи, по которым распространяются возмущения. Поэтому аналогия полезна как инструмент, но опасна как объяснение: там, где она начинает говорить о «воле» биосферы или о её «страдании», она ломается. Книга это оговаривает не для осторожности, а потому, что без оговорки аналогия превращается в мистику, а мистика объясняет меньше, чем наука.

Аналогия с психологическим кризисом устроена иначе, потому что она касается не устройства, а структуры процесса. Психологический кризис — это период, когда прежние способы существования перестают работать и человек вынужден перестраиваться, и у такого периода есть стадии:

накопление напряжения, острый момент, распад, поиск, новая организация. В биосфере видна похожая последовательность: экологический стресс накапливается, наступает острый период массового вымирания, рушатся прежние доминанты, выжившие осваивают освободившиеся места, система выходит на новый уровень разнообразия. Сходство это не случайно: у сложных систем общая логика перестройки, независимо от того, из чего они состоят. Но переживание есть только у человека, и там, где аналогия начинает говорить о «чувствах» биосферы, она снова ломается.

Есть и обратная опасность: свести аналогию к метафоре и на этом остановиться, как будто метафора сама по себе что-то объясняет. Метафора без анализа ничего не объясняет, она только украшает речь и создаёт иллюзию понимания, которая рассыпается при первом же вопросе. Книга пытается пройти между двумя крайностями: не превращать биосферу в живое существо с намерениями и не отказываться от аналогии только потому, что она неточна. Аналогия работает, пока она помогает увидеть стадии и механизмы, и перестаёт работать, как только начинает претендовать на объяснение переживания. Эта граница проводится в каждой главе, где аналогия используется, а не только во введении.

Теперь о том, почему книга вообще берётся за эту тему, и причин здесь несколько, причём разного порядка. Пер-

вая причина научная: за последние десятилетия накопилось много данных о древних кризисах, и картина стала сложнее, чем была ещё полвека назад, когда о вымираниях писали понемногу и в основном в связи с динозаврами. Вторая причина системная: появились методы, позволяющие описывать биосферу как систему, а не как набор отдельных случаев, и эти методы меняют сами вопросы, которые задают исследователи. Третья причина современная: голоценовое вымирание идёт прямо сейчас, и древние кризисы становятся материалом для понимания настоящего, а не только предметом академического интереса. Все три причины работают вместе, и ни одна из них не отменяет остальные.

Научная причина требует пояснения, потому что она меняет тон книги. Ещё в середине двадцатого века массовые вымирания часто описывали как загадки, к которым подбирают подходящую разгадку, и разгадка обычно была одна: то астероид, то вулканы, то климат. Сейчас ситуация изменилась: накопились данные по геохимии, по датировкам, по распределению организмов в разрезах, и эти данные позволяют не только строить гипотезы, но и проверять их. Поэтому книга может опираться на конкретные исследования, а не на общие рассуждения о катастрофах, и читатель увидит, как наука работает с материалом, а не только какие выводы она делает. Это требует от читателя некоторого терпения, но вознаграждает пониманием того, откуда берутся утвержде-

ния о древних событиях.

Системная причина связана с тем, что сами вопросы изменились, и это изменение стоит проследить. Раньше спрашивали, что убило ту или иную группу, и ответ искали в событии: удар, извержение, похолодание. Теперь спрашивают, как перестраивалась система в целом, и ответ ищут в устройстве связей: какие связи порвались первыми, какие удержались, что возникло на месте разорванных. Такой сдвиг произошёл не только в палеонтологии, но и в экологии, и в науках о сложных системах, и книга пытается соединить эти линии. Она показывает, что вымирание — это не событие в жизни отдельных групп, а событие в жизни системы, и это меняет и язык описания, и выводы, которые из описания следуют.

Современная причина делает тему неотложной, и это тоже влияет на книгу. Голоценовое вымирание идёт прямо сейчас, и его главная причина — человек: охота, разрушение местообитаний, инвазивные виды, изменение климата. Древние кризисы кажутся далёкими, но они становятся способом понять, что происходит с нами, потому что механизм перестройки один и тот же, независимо от того, кто его запустил. Книга не предсказывает будущее и не даёт рецептов, но она показывает, как читать прошлое, чтобы не смотреть на настоящее с закрытыми глазами. В этом смысле палеонтология

оказывается не музейной дисциплиной, а инструментом для настоящего, и современное вымирание разбирается в книге на тех же правах, что и пермское или мел-палеогеновое.

Есть и полемическая причина, которую не стоит скрывать. Распространён взгляд, что вымирания — чистое зло, которого можно было бы избежать, и взгляд этот понятный, потому что за ним стоит сострадание к погибшему. Но он плохо согласуется с летописью: за миллиарды лет жизнь проходила через кризисы не раз, и каждый раз после них возникало что-то, чего раньше не было, хотя цена этого «чего-то» была высокой. Это не значит, что кризисы нужно приветствовать, и не значит, что их нельзя смягчать, — это значит, что вопрос о них требует анализа, а не только сострадания. Книга спорит не с состраданием, а с упрощением, которое превращает сложный процесс в моральную пьесу с одним злодеем и одним героем. Полемика ведётся не ради спора, а ради точности.

Нужно сразу оговорить, чего в книге не будет, чтобы читатель не ждал от неё того, чего она не обещает. В ней нет полного перечня всех вымираний и всех гипотез: такой перечень занял бы несколько томов и устарел бы через год, потому что палеонтология продолжает работать. В ней нет попытки доказать, что кризисы полезны: это утверждение и научно сомнительно, и этически скользко, и книга его не дела-

ет. В ней нет превращения биосферы в существо с намерениями: такая мистика объясняет меньше, чем наука, и хуже проверяется. Книга делает более скромную работу: разбирает механизм и показывает, как он работает на конкретных примерах, а выводы предоставляет делать читателю.

Есть и ещё одно ограничение, которое касается не содержания, а статуса выводов. Книга не претендует на окончательность, потому что палеонтология — живая область, в ней есть споры, и некоторые из них не решены до сих пор. Спор о причинах мел-палеогенового вымирания длится десятилетиями, спор о темпах пермского кризиса не закрыт, а вопрос о том, насколько корректно называть голоценовое вымирание массовым, остаётся открытым. Книга не делает вид, что эти споры решены, и не выдаёт гипотезы за факты, потому что такая подмена разрушает доверие к науке. Это не ослабляет изложение, а делает его честнее: читатель видит не только то, что наука знает, но и то, чего она пока не знает.

Отдельно нужно сказать о языке, потому что язык здесь — часть аргумента, а не просто способ передачи содержания. Разговор о вымираниях легко скатывается в два регистра: либо в ужас, либо в равнодушие, и оба одинаково мешают пониманию. Ужас парализует мысль, равнодушие её отменяет, и книга пытается держаться третьего регистра: спокойного описания, в котором масштаб потерь не скрывается, но и

не превращается в зрелище. Пафос здесь неуместен, потому что он заменяет мысль, а точность важнее эффекта. Это сознательная позиция, а не стилистическая случайность, и она проводится через весь текст, включая главы о современном вымирании, где соблазн пафоса особенно велик.

Язык связан и с адресатом, и об адресате стоит сказать отдельно. Книга написана для читателя, который хочет понять, а не просто узнать, и это разные вещи: узнать можно из новостей, а понять требует усилия. Такому читателю не нужны упрощения до сказки, но и специальные знания не требуются, потому что термины вводятся по мере необходимости и объясняются, а сложные места разбираются на примерах. При этом автор не боится оставить вопрос открытым, если наука не даёт однозначного ответа, потому что закрывать вопрос силой красивой фразы — значит обманывать читателя. Читатель увидит, что палеонтология — область, где есть споры и нерешённые проблемы, а не набор готовых истин, и это делает чтение не проще, но честнее.

Структура книги следует за вопросами, а не за хронологией ради хронологии, и это стоит объяснить, чтобы читатель понимал, почему главы идут именно так. Сначала разбираются конкретные события — от эдиакарского до мел-палеогенового, затем менее известные кризисы кайнозоя, затем механизмы: причины, избирательность, системность. После

этого идёт вопрос о том, можно ли обойтись без вымираний, и аналогия с психологическими кризисами, которая позволяет взглянуть на материал под другим углом. Завершают книгу современное вымирание и разговор о том, что можно и чего нельзя с ним сделать, потому что современность задаёт смысл всему предыдущему. Такая последовательность позволяет сначала накопить материал, а потом перейти к обобщениям, не подменяя факты схемами с самого начала.

Хронология важна, но не как самоцель, и это различение нужно держать в голове на протяжении всей книги. Даты нужны, чтобы видеть порядок событий и их связь с геологическими процессами: движением материков, вулканизмом, изменением климата. Без дат разговор превращается в набор баек, а с датами становится историей, у которой есть причины и следствия, и эту разницу читатель почувствует уже в первых главах. При этом книга не требует запоминать миллионы лет: достаточно держать в голове общую последовательность, а даты приводятся, чтобы можно было вернуться к ним при необходимости. Экзамена здесь нет и не будет, потому что задача книги — понимание, а не проверка памяти.

Одна из задач книги — вернуть вымираниям их сложность, которую они потеряли в массовой культуре. В массовой культуре они часто сводятся к одному событию: астероид убил динозавров, и на этом всё, как будто до удара ниче-

го не происходило и после него ничего не случилось. Но за этим событием стоит долгая история: как динозавры стали доминирующей группой, какие группы они вытеснили, что происходило с экосистемами до и после удара, почему одни группы пережили кризис, а другие нет. Сложность не отменяет драмы, но делает её понятной, и читатель, который увидит механизм, перестанет воспринимать вымирания как случайные капризы природы. Он увидит систему, в которой катастрофа и обновление связаны, и эта связь важнее любого отдельного удара.

Ещё одна задача — показать, что вымирания различаются по масштабу и характеру, и это различие принципиально. Пермское вымирание уничтожило почти всю морскую жизнь, а мел-палеогеновое — всех нептичьих динозавров, но морские экосистемы пострадали меньше, и это не случайность, а следствие разного механизма. Эоцен-олигоценовое вымирание было медленным и связано с климатическим сдвигом, а мел-палеогеновое — быстрым и связанным с ударом, и разница в темпе меняет всё: избирательность, возможности адаптации, длительность восстановления. Эти различия важны, потому что показывают, что «вымирание» — не единый процесс, а класс событий с разными механизмами, и книга не пытается свести их к одной схеме. Она показывает, чем они отличаются и что у них общего, и уже из этого сравнения вырастают обобщения.

Наконец, книга — это попытка говорить о вымираниях без двух крайностей, которые кажутся противоположными, но на деле одинаково мешают мысли. Ужас и равнодушие — две формы отказа видеть механизм: первый отказывается потому, что слишком больно, второй потому, что слишком далеко. Книга предлагает третий путь: смотреть на кризисы как на процесс, у которого есть причина, стадии и последствия, и тогда прошлое становится понятным, а настоящее — хотя бы отчасти предсказуемым. Это не гарантирует правильных решений, но делает их возможными, потому что решение, принятое без понимания механизма, — это не решение, а жест. Именно поэтому книга настаивает на механизме и не соглашается подменять его ни ужасом, ни равнодушием.

Важно сразу сказать, что книга не обещает ответов на все вопросы, и это не скромность, а трезвость. Некоторые вопросы в палеонтологии остаются открытыми, и делать вид, что они закрыты, было бы нечестно по отношению к читателю и к науке. Читатель увидит не только то, что наука знает, но и то, чего она пока не знает, и это не недостаток книги, а её достоинство: она показывает науку в работе, а не в виде витрины с готовыми выводами. Такой подход требует от читателя терпения, но вознаграждает пониманием того, как устроено знание о прошлом и почему оно не бывает окончательным. Книга, которая обещает все ответы, обманывает;

книга, которая показывает, как ищут ответы, — учит.

Понимание механизмов вымирания нужно не только для удовлетворения любопытства, и об этом стоит сказать прямо. Оно нужно для охраны природы, для восстановления экосистем, для оценки рисков, потому что если не знать, как устроены кризисы, легко выбрать стратегию, которая делает хуже. История охраны природы знает примеры, когда борьба с одной причиной игнорировала остальные и в итоге усиливала проблему, и эти примеры стоят перед глазами у каждого, кто работает в этой области. Книга не даёт рецептов, но даёт рамку, без которой рецепты превращаются в гадание, и это ещё одна причина, по которой механизм важнее драмы. Драма впечатляет, но действовать приходится на основе механизма, а не на основе впечатления.

Книга возвращает вымираниям их место в истории жизни, и это место больше, чем принято думать. Они не были случайными капризами природы и не были наказанием за что-то: они были частью процесса, в котором жизнь меняла конфигурацию и продолжала существовать. Понимание этого меняет взгляд не только на прошлое, но и на будущее, потому что если кризисы встроены в работу биосферы, то и современный кризис нужно рассматривать как часть системы, а не как внешнюю аномалию. Это не утешение и не оправдание, а трезвость, без которой невозможно ни оценить рис-

ки, ни выбрать стратегию. Трезвость не отменяет трагедии, но она делает возможным разговор о ней без паники и без отрицания.

Есть и этическая сторона, которую не стоит обходить молчанием. Говорить о вымираниях спокойно — не значит обесценивать потери, потому что виды, которые исчезли, исчезли навсегда, и никакая системная рамка этого не отменяет. Книга не пытается утешить и не пытается оправдать, она пытается понять, и в этом понимании есть своя этика: не превращать трагедию в зрелище и не превращать её в абстракцию. Масштаб потерь должен быть виден, но он не должен заслонять механизм, потому что без механизма остаётся только счёт погибших, а со счётом далеко не уйдёшь. Этическая позиция книги проста: понимать, не оправдывая, и помнить, не превращая память в товар.

Введение заканчивается там, где начинается первая глава, и это не просто формальность. Дальше пойдёт разговор о конкретных событиях, и каждое из них будет разобрано по одной схеме: что произошло, кто исчез, кто пришёл, почему это важно. Схема не случайна: она позволяет сравнивать события между собой и видеть общие закономерности, а без сравнения разговор о вымираниях остаётся набором историй. Сравнение — это то, что превращает отдельные случаи в науку, и именно к нему книга стремится с первых страниц.

Поэтому введение и заканчивается обещанием схемы, а не пересказом содержания.

Если читатель закроет книгу с ощущением, что вымирания — это не только потери, но и механизм, задача будет выполнена. Если он начнёт задавать вопросы о современности, которые раньше не приходили в голову, задача будет выполнена вдвойне, потому что именно ради этих вопросов книга и пишется. Книга не обещает лёгкого чтения, но обещает честное, и честное чтение о кризисах — это уже немало. Дальше — первая глава, эдиакарское вымирание, с которого начинается вся история, о которой пойдёт речь.

Древнейшие кризисы

Эдиакарское вымирание (~550—540 млн лет назад)

История жизни на Земле насчитывает почти четыре миллиарда лет, но почти всё это время она оставалась незаметной: одноклеточные организмы, плёнки бактерий на дне мелководий, тонкие слои осадка, в которых не было ничего крупного. Ситуация изменилась в Эдиакарском периоде, который начался около 635 миллионов лет назад и закончился около 539 миллионов лет назад, и изменилась настолько резко, что биологи до сих пор спорят, что именно они видят в отложениях этого возраста. В Эдиакарских морях появились крупные многоклеточные организмы, размером от сантиметра до метра и больше, и большинство из них не похоже ни на что современное. Эти организмы получили название эдиакарской биоты, или вендобионтов, и именно с ними связана первая в истории Земли крупная смена состава жизни. Разговор о массовых вымираниях логично начинать именно с неё, потому что здесь впервые видно то, что будет повторяться потом: появление новых форм, их расцвет и резкая смена, после которой жизнь уже не возвращается к прежне-

му облику.

Прежде чем говорить о самом вымирании, нужно понять, что представлял собой Эдиакарский мир, потому что без этого непонятно, что именно исчезло. Эдиакарские организмы известны по отпечаткам в тонкозернистых породах, которые сохраняют форму мягких тел, и сохранность эта настолько хороша, что позволяет видеть детали, недоступные для более древних отложений. Среди самых известных форм — Dickinsonia, плоское овальное существо с сегментированным телом, Charnia, похожая на перо или ветку, и Kimberella, которую многие исследователи считают древним моллюском или близким к моллюскам организмом. Эти три названия стали символами Эдиакарской биоты, хотя она включает десятки родов и, вероятно, сотни видов, многие из которых описаны по единичным находкам. Важно сразу отметить, что Эдиакарские организмы не имеют скелетов, раковин или панцирей, и именно поэтому их сохранность так зависит от типа породы. Это обстоятельство сильно усложняет изучение, потому что палеонтолог имеет дело с отпечатками мягких тел, а не с твёрдыми остатками, которые обычно и сохраняются в летописи.

Возраст Эдиакарских отложений определяется радиометрическими методами и последовательностью слоёв, и здесь есть свои сложности. Начало периода датируется примерно

635 миллионами лет назад, когда после глобального оледенения, известного как Мариноанское, началось потепление и отступление ледников. Конец периода обычно проводят на уровне около 539 миллионов лет назад, где появляются первые скелетные организмы и следы активного рытья, но точная граница остаётся предметом дискуссий. Такая неопределённость связана с тем, что разные разрезы в разных частях света дают немного разные даты, и свести их к одной точке непросто. Для нашей темы важнее другое: Эдиакарская биота существовала на протяжении почти ста миллионов лет, то есть это был долгий и устойчивый мир, а не короткая вспышка. Именно эта длительность делает исчезновение биоты особенно заметным событием, потому что исчезло то, что существовало очень долго и казалось устойчивым.

География Эдиакарского мира сильно отличалась от современной, и это важно для понимания условий, в которых жили вендобионты. Материки располагались иначе, чем сейчас, и большая часть их была собрана в суперконтинент, который иногда называют Гондваной, а северные территории были разбросаны по низким широтам. Климат в Эдиакарском периоде был в целом мягким, но с заметными колебаниями, и после Мариноанского оледенения планета пережила ещё несколько похолоданий, хотя и меньшего масштаба. Моря были мелководными и обширными, что создавало огромные пространства для жизни на дне, и именно в

этих мелководьях и сохранились основные местонахождения Эдиакарской биоты. Кислорода в атмосфере и океане было меньше, чем сейчас, но достаточно для существования крупных многоклеточных организмов, хотя их энергетические потребности, вероятно, были ниже, чем у современных животных. Всё это вместе создавало особый мир, в котором эдиакарские организмы могли существовать, не имея ни скелетов, ни врагов, ни конкурентов в привычном нам смысле.

Самое трудное в изучении Эдиакарской биоты — понять, кем были эти организмы и как они жили, потому что их форма не имеет аналогов среди современных животных. Dickinsonia долгое время считали то медузой, то червём, то лишайником, и только недавние исследования с анализом органических молекул показали, что это, вероятно, животное, но какое именно — до сих пор неясно. Charnia, с её ветвящейся структурой, напоминает современных морских перьев, но родство это скорее внешнее, чем истинное, и её место на древе жизни остаётся спорным. Kimberella, с характерными следами питания, которые она оставляла на микробных матах, больше всего похожа на моллюска, и это сходство подтверждается строением её тела, хотя и здесь есть вопросы. Многие другие формы, такие как Rangea, Pteridinium или Ernietta, вообще не поддаются однозначной интерпретации, и для них предлагались самые разные гипотезы, от животных до гигантских одноклеточных. Эта неопределён-

ность — не недостаток науки, а честное признание того, что материал сложен, и она сопровождает весь разговор об Эдиакарском вымирании.

Один из ключевых вопросов касается того, были ли вендобионты животными в современном смысле слова. Сторонники животной природы указывают на наличие у некоторых форм симметрии, сегментации и следов движения, что предполагает мышечную активность и нервную систему. Противники возражают, что строение многих вендобионтов несовместимо с животной организацией, и предлагают рассматривать их как отдельное царство или как гигантских протистов, которые достигали крупных размеров за счёт особого способа питания. Компромиссная точка зрения состоит в том, что Эдиакарская биота была неоднородной: часть её представителей действительно относилась к животным, а часть — к другим группам, которые не дожили до наших дней. Для нашей темы это различие важно, потому что от него зависит, что именно мы называем вымиранием: исчезновение целого царства или исчезновение нескольких групп животных, которые просто не оставили потомков. Скорее всего, имело место и то, и другое, и именно поэтому Эдиакарское вымирание так трудно поддаётся точному описанию.

Способ питания вендобионтов тоже остаётся предметом споров, и это напрямую связано с вопросом о том, поче-

му они исчезли. Многие Эдиакарские организмы, вероятно, питались растворённым органическим веществом, которое всасывали всей поверхностью тела, и такой способ питания не требует ни рта, ни кишечника, ни активного движения. Другие, возможно, поедали микробные маты, соскабливая их с поверхности дна, и следы такого питания сохранились в виде характерных борозд и валиков. Третьи могли быть фильтраторами, которые пропускали воду через тело и улавливали частицы пищи, хотя для этого нужна развитая система каналов, которую у большинства вендобионтов не видно. Разнообразие способов питания показывает, что Эдиакарская биота не была однородной, и это ещё раз подчёркивает, что перед нами не один мир, а несколько миров, которые сосуществовали в одних и тех же морях. Понимание этих способов питания важно, потому что появление животных, которые ели других животных и рыли осадок, вероятно, разрушило ту среду, на которой держалось питание вендобионтов.

Микробные маты играли в Эдиакарском мире роль, которую трудно переоценить, и без разговора о них картина будет неполной. Микробные маты — это плотные слои бактерий и других микроорганизмов, которые покрывали дно мелководий и создавали устойчивую плёнку, стабилизирующую осадок. Вендобионты часто жили на этих матах или внутри них, и их тела нередко сохраняются вместе с отпечатками матов,

что указывает на тесную связь. Маты были не просто фоном, а источником пищи и стабилизатором среды, и их разрушение в конце Эдиакарского периода стало одним из ключевых событий. Когда появились животные, которые начали рыть осадок и поедать маты изнутри, эта устойчивая система начала рушиться, и вместе с ней рушилась среда, к которой вендобионты были приспособлены. Именно поэтому разговор о вымирании Эдиакарской биоты невозможен без разговора о судьбе микробных матов.

Теперь можно перейти к самому событию, которое называют Эдиакарским вымиранием, и сразу оговорить, что это название условно. Строго говоря, мы не знаем, было ли это вымирание в том смысле, в каком говорят о Пермском или Мел-Палеогеновом: слишком мало данных о темпах исчезновения и о том, насколько синхронно оно происходило в разных регионах. Одни исследователи считают, что Эдиакарская биота исчезла довольно быстро, на протяжении нескольких миллионов лет, и что это был настоящий кризис. Другие полагают, что исчезновение было постепенным и растянулось на десятки миллионов лет, а на смену одним формам приходили другие, и никакого единого события не было. Третьи предлагают компромисс: вымирание было, но его темпы и масштабы различались в разных группах и регионах, и говорить о нём как о едином моменте не совсем корректно. Эта неопределённость — не слабость палеонто-

логии, а отражение сложности материала, и она сопровождает весь разговор о первом крупном кризисе в истории жизни.

Что именно исчезло в конце Эдиакарского периода, можно описать только приблизительно, потому что систематика вендобионтов разработана слабо. Большая часть родов, известных из Эдиакарских отложений, не встречается в более молодых породах, и это позволяет говорить о масштабном исчезновении. Dickinsonia, Charnia, Kimberella, Rangea, Pteridinium и многие другие формы, которые были широко распространены в Эдиакарских морях, в Кембрийских отложениях уже не встречаются. Вместе с ними исчезают и характерные следы жизнедеятельности, связанные с питанием на микробных матах, что указывает на изменение самого способа взаимодействия организмов со средой. Однако не все вендобионты исчезли одновременно: некоторые формы, вероятно, дожили до начала Кембрия и сосуществовали с первыми скелетными животными. Эта постепенность важна, потому что она показывает, что Эдиакарское вымирание не было мгновенным, а представляло собой процесс, растянутый во времени и пространстве.

Причины Эдиакарского вымирания обсуждаются не менее оживлённо, чем само событие, и единой точки зрения здесь нет. Одна из самых популярных гипотез связывает исчезновение вендобионтов с появлением активных живот-

ных, которые начали рыть осадок, поедать микробные маты и нападать на мягкотелых соседей. Такие животные, вероятно, появились в конце Эдиакарского периода или в самом начале Кембрия, и их деятельность могла разрушить среду, к которой вендобионты были приспособлены. Другая гипотеза указывает на изменение химии океана, в частности на снижение концентрации кислорода или изменение содержания растворённого органического вещества, что могло подорвать питание вендобионтов. Третья гипотеза связывает вымирание с климатическими изменениями, включая похолодания и колебания уровня моря, которые могли сократить площадь мелководий, где жила основная масса Эдиакарской биоты. Скорее всего, действовало несколько факторов одновременно, и именно их сочетание привело к тому, что мы называем Эдиакарским вымиранием.

Гипотеза о роли активных животных требует отдельного разбора, потому что она меняет привычное представление о причинах вымираний. Обычно мы думаем о вымирании как о результате внешнего удара: астероид, вулкан, климат. В случае Эдиакарского вымирания, возможно, имел место внутренний процесс: появление новых организмов, которые изменили среду настолько, что прежние обитатели не смогли в ней существовать. Животные, роющие осадок, разрушают микробные маты, перемешивают его и меняют его химию, а те, кто ест других животных, уничтожают медлительных и

беззащитных существ. Вендобионты, которые не имели ни скелетов, ни быстрых движений, ни защитных приспособлений, оказывались в этом новом мире особенно уязвимыми. Эта гипотеза привлекательна тем, что объясняет, почему исчезновение совпало с появлением скелетных животных, но она не объясняет всех деталей, и её сторонники признают, что прямых доказательств пока недостаточно.

Гипотеза об изменении химии океана опирается на данные геохимии, которые показывают, что в конце Эдиакарского периода состав морской воды заметно изменился. Концентрация кислорода в глубинных водах, вероятно, колебалась, и в некоторые моменты могла падать до уровней, при которых крупные многоклеточные организмы не могли существовать. Содержание растворённого органического вещества, которое служило пищей для многих вендобионтов, тоже менялось, и его снижение могло подорвать питание тех форм, которые зависели от всасывания. Кроме того, менялось содержание сульфатов и карбонатов, что влияло на химию осадка и на сохранность микробных матов. Все эти изменения могли действовать постепенно и в разных регионах по-разному, и именно поэтому Эдиакарское вымирание не выглядит единым событием. Геохимические данные важны, потому что они дают независимую от палеонтологии линию доказательств, и их совпадение с палеонтологическими наблюдениями усиливает обе гипотезы.

Климатическая гипотеза связывает Эдиакарское вымирание с похолоданиями и колебаниями уровня моря, которые происходили в конце периода. После Мариноанского оледенения планета пережила ещё несколько похолоданий, и некоторые из них могли быть достаточно серьёзными, чтобы сократить площадь мелководий, где жила основная масса вендобионтов. Падение уровня моря осушало шельфы, а поднятие, наоборот, затопляло новые территории, и эти колебания могли разрывать ареалы и изолировать популяции. Климатические изменения действуют медленнее, чем удар астероида, но они могут быть не менее разрушительными, если растянуты на миллионы лет и затрагивают целые экосистемы. В случае Эдиакарского вымирания климатическая гипотеза хорошо сочетается с геохимической и биотической: похолодание меняет химию океана, химия меняет условия для жизни, а новые животные довершают разрушение. Именно сочетание факторов, а не одна причина, скорее всего, и привело к исчезновению вендобионтов.

Как бы то ни было, важно понять, что происходило с биосферой в целом, а не только с отдельными группами. Эдиакарское вымирание совпало с одним из самых значительных событий в истории жизни — Кембрийским взрывом, когда за геологически короткий срок появились почти все современные типы животных. Скелеты, раковины, панцири, ак-

тивное движение, поедание других животных, рытьё осадка — всё это появляется в Кембрии, и появление это настолько резкое, что его давно называют взрывом. Эдиакарское вымирание и Кембрийский взрыв — две стороны одного процесса: старая система разрушилась, и на её месте возникла новая, с совершенно другими правилами. Именно поэтому Эдиакарское вымирание интересно не только само по себе, но и как точка перехода, в которой биосфера перестроилась настолько глубоко, что прежние формы жизни уже не могли вернуться.

Кембрийский взрыв заслуживает отдельного описания, потому что без него непонятно, что именно пришло на смену вендобионтам. В начале Кембрия, около 539 миллионов лет назад, в морях появляются организмы с твёрдым скелетом: мелкие трубки, раковины, шипы, пластинки. Эти скелетные элементы сохраняются в породах гораздо лучше мягких тел, и именно поэтому Кембрийская летопись выглядит богаче Эдиакарской, хотя это может быть иллюзией сохранности. Вместе со скелетами появляются следы активного рытья, которые указывают на животных, способных зарываться в осадок и перемешивать его. Появляются и животные, которые едят других животных: некоторые Кембрийские организмы, такие как Anomalocaris, достигали метра в длину и, вероятно, нападали на более мелких обитателей моря. Всё это вместе создаёт картину мира, который радикально отличается

от Эдиакарского: вместо медлительных мягкотелых существ на микробных матах — активные, защищённые, подвижные животные, которые преобразуют среду обитания.

Связь между Эдиакарским вымиранием и Кембрийским взрывом не сводится к простому «одно сменилось другим», и это важно подчеркнуть. С одной стороны, исчезновение вендобионтов освободило места, которые в Кембрии заняли новые животные. С другой стороны, появление новых животных, вероятно, само способствовало исчезновению вендобионтов, потому что новые организмы изменяли среду и конкурировали за ресурсы. С третьей стороны, и вымирание, и взрыв могли быть следствиями одних и тех же внешних изменений: роста концентрации кислорода, изменения химии океана, климатических сдвигов. Разделить эти три линии бывает трудно, и именно поэтому Эдиакарско-Кембрийский переход остаётся одной из самых интересных и самых спорных тем в палеонтологии. Для книги важно, что этот переход показывает, как вымирание и обновление могут быть связаны в единый процесс, и эта связь будет повторяться в последующих главах.

Рост концентрации кислорода часто называют одной из главных причин Кембрийского взрыва, и это стоит обсудить отдельно. Кислород нужен для эффективного обмена веществ, и без достаточного количества кислорода крупные

активные животные не могли бы существовать. В Эдиакарском периоде концентрация кислорода была ниже, чем сейчас, и это ограничивало размеры и активность организмов. В Кембрии концентрация кислорода, вероятно, выросла, и это открыло возможности для появления более энергоёмких форм жизни. Однако связь между кислородом и взрывом не так проста: рост концентрации мог быть постепенным, а взрыв — резким, и между ними могло быть запаздывание. Кроме того, кислород сам по себе не объясняет, почему появились именно скелеты, именно животные, поедающие других, и именно роющие организмы. Поэтому кислородная гипотеза работает в сочетании с другими: она создаёт условия, но не диктует конкретные формы, которые эти условия используют.

Появление скелетов — одна из самых заметных инноваций Кембрия, и у неё есть несколько объяснений, которые не исключают друг друга. Скелет может защищать от животных, которые едят других животных, и появление таких животных делает защиту особенно ценной. Скелет может служить опорой для мышц, что позволяет животному двигаться быстрее и эффективнее. Скелет может помогать фильтровать воду или защищать от высыхания в приливно-отливной зоне. Наконец, скелет может быть побочным продуктом обмена веществ, и его появление не обязательно связано с выгодой для организма. В Кембрии мы видим все эти варианты

одновременно: раковины моллюсков, панцири членистоногих, шипы и трубки разных групп. Разнообразие скелетных форм показывает, что скелет оказался универсальным решением множества задач, и именно поэтому он так быстро распространился. Для нашей темы важно, что скелеты сохраняются в летописи, и благодаря им Кембрийский мир известен гораздо лучше Эдиакарского.

Животные, которые едят других животных, в Кембрии меняют правила игры, и это изменение стоит проследить. В Эдиакарском мире не было крупных активных охотников, и вендобионты могли позволить себе быть медлительными и мягкими. В Кембрии появляются животные, которые активно ищут добычу, хватают её и поедают, и это создаёт совершенно новое давление отбора. Защита становится необходимой, и скелеты, шипы, панцири оказываются ответом на это давление. Скорость становится преимуществом, и активное движение распространяется среди разных групп. Размер тоже начинает играть роль, потому что крупное животное может съесть мелкое, а мелкое может спрятаться. Всё это вместе создаёт мир, в котором жизнь становится более динамичной, более опасной и более разнообразной. Эдиакарский мир был миром без охотников в современном смысле, и именно поэтому его исчезновение так заметно: исчез мир, в котором можно было быть мягким и медлительным.

Животные, роющие осадок, — ещё одна Кембрийская инновация, которая сильно изменила среду обитания. Когда животные начинают зарываться в осадок, они перемешивают его, меняют его химию и разрушают слоистую структуру, которая сохранялась миллионами лет. Микробные маты, которые стабилизировали дно в Эдиакарском периоде, оказываются под угрозой, потому что роющие животные поедают их и разрушают их структуру. Осадок становится более рыхлым и более окисленным, и это меняет условия для всех организмов, живущих на дне и в дне. Роющие животные сами получают преимущество, потому что могут использовать ресурсы, недоступные для поверхностных форм, и могут прятаться от охотников. Но их деятельность разрушает среду, к которой были приспособлены вендобионты, и это ещё один механизм, связывающий появление новых животных с исчезновением старых. Роющая деятельность — это пример того, как организмы меняют среду, и это изменение может быть более важным, чем прямое поедание.

Микробные маты, о которых уже шла речь, заслуживают более подробного разговора, потому что их судьба тесно связана с судьбой Эдиакарской биоты. Маты состоят из слоёв бактерий и архей, которые скрепляют осадок и создают устойчивую поверхность, на которой могут жить другие организмы. В Эдиакарском периоде маты покрывали обширные площади мелководий, и вендобионты жили на них или

внутри них. Когда роющие животные и активные поедатели матов появляются в Кембрии, маты начинают исчезать, и вместе с ними исчезает среда, к которой были приспособлены вендобионты. Это не значит, что маты исчезли полностью: они сохранились в некоторых местах, где условия оставались подходящими, но их площадь сильно сократилась. Сокращение площади матов — это пример изменения среды, которое может быть более важным, чем прямое вымирание, потому что среда исчезает раньше, чем организмы, которые от неё зависят. Именно поэтому разговор о вымирании Эдиакарской биоты неизбежно превращается в разговор о судьбе микробных матов.

Есть и ещё одна сторона Эдиакарского вымирания, которую часто упускают: это вымирание на уровне сообществ, а не только на уровне отдельных групп. Когда исчезают вендобионты, исчезают и связи между ними, и структура сообществ, которая существовала миллионами лет. Исчезают не только организмы, но и способы их взаимодействия: кто на кого влиял, кто с кем конкурировал, кто кого использовал как опору. Новая Кембрийская система строится по другим правилам: в ней есть охотники и жертвы, есть роющие животные и организмы, живущие на поверхности, есть скелеты и защита. Переход от одной системы к другой — это не просто замена одних видов другими, а смена самих правил, по которым существует жизнь на дне моря. Именно поэто-

му Эдиакарское вымирание считается таким важным событием: оно изменило не только состав жизни, но и логику её организации.

Чтобы понять масштаб этого перехода, полезно сравнить Эдиакарский мир с Кембрийским по нескольким параметрам. По разнообразию форм Кембрийский мир, вероятно, богаче, но это может быть следствием лучшей сохранности скелетов. По сложности взаимодействий Кембрийский мир явно сложнее: в нём есть охотники, есть защита, есть рытьё, есть фильтрация. По устойчивости Эдиакарский мир, возможно, был стабильнее, потому что существовал почти сто миллионов лет без крупных кризисов, а Кембрийский мир был более динамичным и более уязвимым. По энергетике Кембрийский мир требовал больше кислорода и больше пищи, и это делало его более зависимым от внешних условий. Сравнение показывает, что переход от Эдиакария к Кембрию был не просто сменой животных, а сменой всей экономики жизни: от медленной и малозатратной к быстрой и энергоёмкой. Эта смена и есть то, что делает Эдиакарское вымирание поворотным событием.

Отдельный вопрос — что случилось с вендобионтами после того, как они исчезли из летописи. Полностью ли они вымерли, или некоторые их потомки дожили до наших дней в неузнаваемом виде? На этот вопрос нет однозначного отве-

та. Одни исследователи считают, что вендобионты не оставили потомков и представляют собой полностью исчезнувшую ветвь жизни. Другие полагают, что некоторые из них дали начало современным группам животных, и тогда Эдиакарское вымирание было не полным исчезновением, а вытеснением одних форм другими в рамках одной родословной. Третьи допускают, что часть вендобионтов дожила до Кембрия и существовала бок о бок со скелетными животными, но не сохранилась в летописи из-за плохой сохранности мягких тел. Этот вопрос важен, потому что от него зависит, считаем ли мы Эдиакарскую биоту тупиковой ветвью или предковой группой. Прямых данных для ответа пока недостаточно, и он остаётся открытым.

Есть и более широкий вопрос: насколько корректно вообще называть Эдиакарское событие вымиранием. Слово «вымирание» предполагает исчезновение, а исчезновение предполагает потерю. Но если вендобионты не были животными в современном смысле, а составляли отдельные, независимые ветви жизни, то их исчезновение — это не потеря для животного мира, а просто конец нескольких экспериментов, которые не получили продолжения. Если же они были животными, то их исчезновение — это потеря для животного мира, и тогда Эдиакарское вымирание стоит в одном ряду с Пермским или Мел-Палеогеновым. Ответ зависит от того, как мы определяем животных и как проводим границу меж-

ду «своими» и «чужими». Эта неопределённость не мешает изучению события, но она напоминает, что термины не всегда совпадают с реальностью, и это стоит держать в голове.

Ещё один аспект — географическая неоднородность Эдиакарского вымирания. В разных регионах мира исчезновение вендобионтов происходило, вероятно, в разное время и с разной скоростью. В одних местах Эдиакарская биота сохранялась дольше, в других исчезала раньше, и это связано с различиями в условиях: глубиной моря, химией воды, климатом. Такая неоднородность усложняет датировку события и делает его менее похожим на единый момент. Вместо одного вымирания мы видим мозаику локальных изменений, которые в сумме дают глобальный сдвиг. Это наблюдение важно, потому что оно показывает, что массовые вымирания не всегда происходят одновременно повсюду, и глобальный кризис может складываться из множества локальных. Для книги это ещё один пример того, что вымирание — процесс, а не мгновение.

С точки зрения современной науки, Эдиакарское вымирание интересно не только как историческое событие, но и как модель. Оно показывает, как появление новых организмов может изменить среду настолько, что прежние обитатели не смогут в ней существовать. Это модель, которую можно приложить к другим эпохам, включая нашу: когда один

вид начинает преобразовывать среду в своих интересах, другие виды могут потерять места обитания. Конечно, аналогия неполная: вендобионты не строили города и не вырубали леса. Но механизм — изменение среды одним видом в ущерб другим — повторяется в истории не раз, и Эдиакарское вымирание даёт самый ранний пример этого механизма. Именно поэтому оно важно не только для палеонтологии, но и для понимания общих закономерностей взаимодействия жизни и среды.

Отдельно стоит сказать о том, как изучение Эдиакарской биоты изменило представления о темпах эволюции. Долгое время считалось, что эволюция идёт медленно и постепенно, и Кембрийский взрыв был загадкой, потому что не вписывался в эту картину. Изучение Эдиакарских отложений показало, что крупные многоклеточные организмы появились за десятки миллионов лет до Кембрия, и что переход к скелетным животным был не внезапным, а подготовленным. Это не отменило идею взрыва, но сделало её более сложной: взрыв был, но ему предшествовал долгий период экспериментов, которые не сохранились в летописи так же хорошо, как Кембрийские скелеты. Эдиакарская биота — это пример того, что эволюция не всегда идёт по прямой, и что тупиковые ветви могут быть не менее интересны, чем успешные. Для книги это важно, потому что показывает, что вымирание — не всегда конец, а иногда просто смена направления.

Есть и практическая сторона изучения Эдиакарской биоты, которая касается методов. Поскольку вендобионты не имеют скелетов, их изучение требует особых подходов: анализа органических молекул, трёхмерной визуализации отпечатков, сравнения с современными организмами, которые могут служить аналогами. Эти методы развиваются быстро, и то, что казалось загадкой десять лет назад, сегодня может получить объяснение. Именно поэтому наши представления об Эдиакарском мире меняются так часто, и именно поэтому книга не может дать окончательного ответа на вопрос, кем были вендобионты. Она может дать другое: понимание того, как наука работает с трудным материалом и почему её выводы всегда временны. Это не недостаток, а честность, и она сопровождает весь разговор о древней жизни.

Возвращаясь к самому вымиранию, стоит подчеркнуть, что его итог не сводится к исчезновению. Итог — появление нового мира, который мы называем Кембрийским, и этот мир был устроен по другим правилам. Скелеты, охотники, роющие животные, фильтраторы, активное движение — всё это появилось после Эдиакарского вымирания, а не до него. Можно сказать, что вымирание расчистило место для нового, но это будет упрощением: новое появилось не потому, что место освободилось, а потому, что изменились условия. Освободившееся место важно, но не менее важны химия

океана, климат, кислород. Именно сочетание освободившегося места и изменившихся условий и дало Кембрийский взрыв. Такой взгляд позволяет увидеть, что вымирание и обновление — не причина и следствие, а две стороны одного процесса, который запускается сочетанием факторов. Эта мысль будет повторяться в книге не раз.

С этой точки зрения Эдиакарское вымирание — не конец истории, а её начало в новом качестве. История Кембрия, Ордовика, Силура и всех последующих периодов — это история мира, который возник после Эдиакарского кризиса. И если мы хотим понять, как устроены последующие вымирания, нам нужно понять, как устроен этот первый. Он задаёт образец: появление новых форм, расцвет, изменение среды, кризис, смена правил. Этот образец будет повторяться в разных вариантах, и каждый раз мы будем видеть одни и те же элементы: освобождение мест, изменение условий, появление новых групп, восстановление в новом составе. Эдиакарское вымирание — это первый вариант этого образца, и поэтому оно заслуживает такого подробного разговора.

Ещё одно важное наблюдение касается роли случая в Эдиакарском вымирании. Мы привыкли искать закономерности, но в истории жизни всегда есть элемент случайности. Кто из вендобионтов выжил, а кто исчез, зависело не только от их приспособленности, но и от того, где они жили, какие усло-

вия сложились в их регионе, какие соседи у них были. Случайность не отменяет закономерностей, но она делает историю непредсказуемой в деталях. Именно поэтому палеонтология не может предсказать, какая группа выживет в следующем кризисе, но может описать, какие признаки повышают шансы. Это различие между предсказанием и пониманием важно, и оно сопровождает весь разговор о вымираниях. Понимание механизма не даёт предсказания каждого шага, но позволяет видеть общую логику.

Случайность связана и с тем, что мы называем «убежищами». В любом кризисе есть места, где условия остаются более благоприятными, и организмы, которые там оказались, получают преимущество. В Эдиакарском вымирании такими убежищами могли быть глубоководные участки, где не было роющих животных, или мелководья с сохранившимися матами. Мы не знаем точно, где были эти убежища, но их существование вероятно, потому что некоторые вендобионты дожили до Кембрия. Убежища — это пример того, как случайность и география вместе определяют судьбу групп. В последующих главах мы увидим, что убежища играли роль и в других вымираниях, и что их наличие может смягчить кризис или, наоборот, продлить его.

Отдельный вопрос — как Эдиакарское вымирание повлияло на дальнейшую эволюцию. Прямое влияние установить

трудно, потому что между Эдиакарием и современностью прошло больше полумиллиарда лет. Но можно говорить о косвенном влиянии: Кембрийский взрыв, который последовал за вымиранием, задал основные линии эволюции животных, и эти линии сохраняются до сих пор. Если бы Эдиакарская биота не исчезла, возможно, животный мир развивался бы иначе, и мы не можем сказать, как именно. Контрфактические вопросы в палеонтологии не имеют ответа, но они полезны, потому что заставляют задуматься о том, насколько случайна история жизни. Эдиакарское вымирание — один из тех моментов, где случайность особенно заметна, потому что мы видим, как целый мир исчез, а на его месте возник другой. Этот другой мир оказался более успешным в долгосрочной перспективе, но это не значит, что он был предопределён.

Ещё один аспект — связь Эдиакарского вымирания с геологическими процессами. В конце периода происходили движения материков, которые меняли океанические течения и климат. Вулканизм тоже играл роль, хотя его масштабы были меньше, чем в Пермском периоде. Эти геологические процессы действовали медленно, но их последствия накапливались и могли создать условия для кризиса. Связь между геологией и биологией в Эдиакарском вымирании не такая прямая, как в случае с астероидом в Мел-Палеогеновом вымирании, но она есть. Понимание этой связи важно, потому

что оно показывает, что вымирания редко имеют одну причину и почти всегда являются результатом взаимодействия разных процессов. Геология задаёт рамки, биология заполняет их, и кризис возникает там, где рамки и заполнение перестают соответствовать друг другу.

Стоит сказать и о том, как Эдиакарское вымирание соотносится с более поздними событиями. По масштабу оно, вероятно, уступает Пермскому и Мел-Палеогеновому, но по значению для истории жизни оно не меньше, а может быть, и больше. Пермское вымирание уничтожило большую часть видов, но типы животных, которые существовали до него, в основном сохранились. Эдиакарское вымирание уничтожило целый мир, который не имел аналогов, и на его месте возник мир, который существует до сих пор. В этом смысле Эдиакарское вымирание — самое глубокое из всех, потому что оно изменило не только состав жизни, но и её организацию. Это не значит, что оно было самым жестоким: жестокость измеряется числом погибших, а глубина — степенью изменения. По глубине Эдиакарское вымирание, возможно, не имеет равных.

Такое сравнение полезно, потому что оно показывает, что у вымираний есть разные измерения. Можно измерять их по числу исчезнувших видов, по числу исчезнувших групп, по глубине перестройки сообществ, по длительности вос-

становления. Эдиакарское вымирание по одним измерениям невелико, по другим — огромно. Это напоминает, что единой шкалы для вымираний не существует, и что каждое событие нужно оценивать по нескольким параметрам. Книга будет придерживаться этого принципа: не ранжировать вымирания по одной шкале, а описывать их по разным измерениям. Такой подход позволяет увидеть, что каждое вымирание уникально, и в то же время сравнимо с другими. Именно в сравнении и возникает понимание.

Наконец, стоит сказать о том, чему учит Эдиакарское вымирание. Оно учит, что миры, которые кажутся устойчивыми, могут исчезнуть, и что исчезновение одного мира открывает дорогу другому. Оно учит, что причины кризиса могут быть внутренними, а не внешними: новые организмы могут разрушить среду не хуже астероида. Оно учит, что вымирание — это процесс, а не мгновение, и что его темпы и масштабы различаются в разных регионах. Оно учит, что случайность играет роль, и что убежища могут спасти часть биоты. Все эти уроки будут повторяться в книге, потому что они универсальны. Эдиакарское вымирание — первый и самый ранний пример, но не единственный. В этом смысле оно не только начало истории, но и ключ к её пониманию.

Заканчивая главу, можно сказать, что Эдиакарское вымирание остаётся одной из самых загадочных страниц истории

жизни. Мы знаем, что произошло, но не знаем точно, почему, и не знаем, кем были главные участники. Эта неопределённость не мешает изучению, а делает его интересным: каждый новый метод, каждая новая находка могут изменить картину. Именно поэтому разговор о вымираниях начинается с Эдиакария: здесь видно, как наука работает с трудным материалом и как она признаёт свои ограничения. Дальше пойдёт разговор о событиях, которые изучены лучше, но и они не лишены загадок. История жизни — это история загадок, которые постепенно раскрываются, и Эдиакарское вымирание — первая из них.

Ордовикско-силурийское вымирание (~445 млн лет назад)

Второе крупное вымирание в истории жизни произошло в конце Ордовикского периода, примерно 445 миллионов лет назад, и оно заметно отличается от Эдиакарского по всем параметрам. Эдиакарский кризис был связан с появлением новых животных и разрушением мира мягкотелых существ, а Ордовикско-силурийское вымирание было вызвано внешним фактором — резким похолоданием и падением уровня моря. Мир, в котором оно произошло, был уже совершенно другим: скелетные животные заселили моря, появились разнообразные брахиоподы, трилобиты, кораллы, моллюски, иглокожие, и жизнь стала гораздо сложнее и разнообразнее, чем в Кембрии. Именно поэтому Ордовикско-силурийское вымирание считается первым из тех событий, которые по-настоящему похожи на массовые вымирания в привычном смысле слова. Здесь мы впервые видим механизм, который будет повторяться и позже: изменение климата запускает цепочку событий, которая проходит по всей биосфере и уносит значительную часть видов.

Прежде чем говорить о самом вымирании, нужно описать Ордовикский мир, потому что без этого непонятно, что именно пострадало. В Ордовикском периоде, начавшемся

около 485 миллионов лет назад, моря были полны скелетных животных, и разнообразие их росло очень быстро. Брахиоподы, похожие на двустворчатых моллюсков, но устроенные иначе, покрывали дно и образовывали обширные поселения. Трилобиты, членистоногие с сегментированным панцирем, ползали по дну и рылись в осадке, и они были одной из самых разнообразных групп того времени. Кораллы, в том числе первые рифообразующие формы, строили подводные постройки, которые давали убежище множеству других организмов. Моллюски, иглокожие, граптолиты — планктонные организмы, парящие в толще воды, — и множество других групп заполняли разные части моря. Этот мир был сложным и зрелым, с развитыми пищевыми связями и специализацией, и именно сложность делала его уязвимым к резким изменениям.

География Ордовикского мира сильно отличалась от современной, и это важно для понимания механизма вымирания. Материки были собраны иначе, и большая часть суши располагалась в южном полушарии, вокруг Южного полюса. Северные территории были разбросаны, и между ними существовали обширные мелководные моря, которые служили главным местом обитания морской жизни. Климат в начале Ордовика был тёплым, и на планете не было крупных ледников. Такая конфигурация была относительно стабильной, и морская жизнь процветала в тёплых мелководьях. Одна-

ко именно эта конфигурация сделала систему уязвимой: когда климат начал меняться, изменения затронули огромные площади, и у организмов не было возможности отступить в более благоприятные районы, потому что таких районов почти не было. География и климат вместе создали условия, в которых кризис, когда он начался, распространился очень быстро.

Примерно 460—445 миллионов лет назад началось похолодание, которое привело к оледенению на южном суперконтиненте Гондвана. Ледники покрыли значительную часть суши, которая в то время находилась у Южного полюса, и это изменило весь климат планеты. Температура поверхности океана упала, и холодные воды распространились из полярных районов к низким широтам. Оледенение сопровождалось падением уровня моря, потому что вода уходила из океанов в ледники, и это падение было значительным: по оценкам, уровень моря опустился на десятки метров, а возможно, и больше. Мелководные моря, которые были главным местом обитания морской жизни, начали осушаться, и огромные площади дна оказались на суше. Это сочетание — похолодание и осушение — стало главной причиной кризиса.

Похолодание само по себе опасно для морских организмов, потому что большинство из них приспособлено к опре-

делённому диапазону температур. Когда вода охлаждается, скорость обмена веществ замедляется, и организмы, которые не могут регулировать температуру тела, начинают работать медленнее. Тропические виды, которые жили в тёплых водах, оказываются вне своего диапазона и либо мигрируют, либо гибнут. Миграция возможна не для всех: одни организмы прикреплены ко дну, другие не могут преодолеть большие расстояния, третьи не выдерживают изменений солёности, которые часто сопровождают похолодание. В результате похолодание действует избирательно: оно бьёт по теплолюбивым видам и щадит холодостойкие. Именно эта избирательность объясняет, почему в Ордовикско-силурийском вымирании пострадали одни группы и не пострадали другие.

Падение уровня моря действует ещё более разрушительно, потому что оно уничтожает сами места обитания. Когда море отступает, шельфовые моря, которые были домом для большинства организмов, превращаются в сушу. Организмы, которые жили на дне, оказываются в буквальном смысле на берегу и погибают. Планктонные организмы, которые жили в толще воды, теряют места обитания, потому что водная толща сокращается. Миграция к более глубоким водам возможна только для тех, кто способен двигаться, и только если такие воды есть поблизости. В Ордовикском мире обширные мелководья были почти везде, и когда они осушились, отступать было некуда. Падение уровня моря — это не

просто изменение условий, это уничтожение среды, и именно поэтому оно так сильно бьёт по морской жизни. В истории Земли падения уровня моря не раз становились причиной вымираний, и Ордовикско-силурийское событие — первый крупный пример этого механизма.

Сочетание похолодания и падения уровня моря усиливает эффект каждого фактора по отдельности. Похолодание меняет температуру, падение уровня уничтожает среду, и вместе они создают ситуацию, в которой выжить могут только немногие. Кроме того, похолодание и падение уровня моря связаны между собой: вода уходит в ледники, и чем больше ледников, тем ниже уровень моря. Эта связь означает, что факторы действуют одновременно и усиливают друг друга. В Ордовикско-силурийском вымирании мы видим именно такой случай: два фактора, связанные причинно, обрушились на биосферу вместе. Именно поэтому вымирание оказалось таким масштабным: если бы действовал только один фактор, потери были бы меньше. Эта логика — сочетание факторов — будет повторяться в последующих главах, потому что она универсальна.

Масштаб потерь в Ордовикско-силурийском вымирании оценивается примерно в 85 процентов морских видов, и это одна из самых высоких цифр в истории. Точные оценки различаются в зависимости от методов и от того, какие груп-

пы учитываются, но общая картина ясна: вымирание было очень крупным. Пострадали брахиоподы, трилобиты, кораллы, граптолиты, иглокожие, моллюски и многие другие группы. Некоторые группы исчезли полностью, другие потеряли большую часть разнообразия, третьи пережили кризис, но уже не восстановили прежнего положения. Масштаб потерь делает это вымирание одним из самых значительных, и именно поэтому оно привлекает внимание исследователей. Однако масштаб потерь — не единственное, что важно: важна ещё и избирательность, потому что она показывает, какие признаки делают организмы уязвимыми.

Брахиоподы — одна из групп, которая пострадала особенно сильно, и их судьба показательна. В Ордовикском периоде брахиоподы были одной из самых разнообразных и многочисленных групп морского дна, и они занимали разные экологические ниши. В ходе вымирания многие роды и семейства брахиопод исчезли, и разнообразие группы резко сократилось. Причина их уязвимости, вероятно, связана с тем, что брахиоподы прикреплены ко дну и не могут мигрировать, когда условия меняются. Кроме того, многие из них были специализированы к определённым условиям, и когда эти условия исчезли, они исчезли вместе с ними. После кризиса брахиоподы восстановились, но уже в другом составе: некоторые группы, которые были редкими до вымирания, стали доминирующими после него. Эта смена доминантов

— характерная черта массовых вымираний, и она будет повторяться.

Трилобиты — другая группа, которая сильно пострадала, и их история в этом вымирании особенно интересна. Трилобиты были разнообразны в Кембрии и Ордовике, и они занимали разные ниши: от мелких форм, живших в осадке, до крупных хищников. В Ордовикско-силурийском вымирании многие группы трилобитов исчезли, и разнообразие их резко сократилось. Однако трилобиты не исчезли полностью: они пережили кризис и продолжили существовать в Силуре и Девоне, хотя уже не были так разнообразны, как раньше. Эта устойчивость трилобитов к кризису объясняется, вероятно, их способностью к миграции и к изменению образа жизни. Трилобиты — пример того, что вымирание не всегда означает полное исчезновение группы: иногда группа проходит через кризис, теряет разнообразие, но выживает и продолжает существовать. Полное исчезновение трилобитов произошло позже, в Пермском периоде, и это показывает, что вымирания действуют не мгновенно, а растянуто во времени.

Кораллы пострадали особенно сильно, и это связано с их образом жизни. Кораллы — это колониальные организмы, которые строят скелеты из карбоната кальция и образуют рифы. Рифы — это сложные экосистемы, которые зависят от

множества условий: температуры, солёности, прозрачности воды, наличия симбиотических водорослей. Когда температура падает и уровень моря опускается, рифы оказываются в числе первых жертв, потому что они не могут мигрировать и не могут быстро адаптироваться. В Ордовикско-силурийском вымирании многие рифообразующие кораллы исчезли, и рифовые экосистемы рухнули. После кризиса рифы восстановились, но уже с другими доминирующими группами. Судьба кораллов показывает, что сложные экосистемы могут быть более уязвимыми, чем простые, потому что они зависят от большего числа условий. Эта закономерность будет повторяться и в других вымираниях.

Граптолиты — планктонные организмы, которые жили в толще воды и часто сохраняются в породах в огромных количествах, — тоже пострадали от вымирания. Граптолиты были важной частью морского планктона, и их исчезновение затронуло пищевые сети, потому что планктон служит пищей для многих организмов. Потеря планктона — это потеря основания пищевой пирамиды, и последствия этого могут быть гораздо шире, чем прямая гибель планктонных организмов. В Ордовикско-силурийском вымирании граптолиты потеряли значительную часть разнообразия, и это, вероятно, повлияло на всю морскую экосистему. Граптолиты важны и для науки, потому что они служат для датировки пород: их быстрая эволюция и широкое распространение делают их

хорошими маркерами времени. Именно по граптолитам удалось установить, что вымирание происходило в несколько этапов, а не одномоментно.

Этапность — важная черта Ордовикско-силурийского вымирания, и она отличает его от некоторых других кризисов. Исследования показывают, что вымирание шло не одним ударом, а несколькими импульсами, которые были связаны с колебаниями климата и уровня моря. Оледенение то наступало, то отступало, и каждый раз это вызывало новую волну вымирания. Такая этапность означает, что у организмов было время на адаптацию между импульсами, но не хватало времени, чтобы полностью восстановиться. В результате вымирание растянулось на несколько миллионов лет, и его последствия накапливались. Этапность — это ещё один пример того, что массовые вымирания не всегда мгновенны: иногда они представляют собой серию кризисов, которые в сумме дают большой эффект. Для книги это важно, потому что показывает, что механизмы вымираний разнообразны, и сводить их к одному удару было бы упрощением.

Причины Ордовикско-силурийского вымирания обсуждаются давно, и здесь есть несколько гипотез, которые не исключают друг друга. Главная причина — оледенение и связанное с ним падение уровня моря, и это подтверждается геологическими данными: ледниковые отложения Ор-

довикского возраста найдены в Африке и Южной Америке. Однако оледенение само требует объяснения: почему климат начал охлаждаться? Одни исследователи связывают это с движением материков и изменением океанических течений, другие — с изменением содержания углекислого газа в атмосфере, третьи — с вулканической активностью. Кроме того, обсуждается роль кислорода: похолодание могло изменить циркуляцию океана и снизить содержание кислорода в глубинных водах, что добавило ещё один фактор к кризису. Скорее всего, действовало несколько причин одновременно, и именно их сочетание привело к тому, что вымирание оказалось таким масштабным.

Движение материков как причина похолодания — гипотеза, которая хорошо согласуется с геологией. В Ордовикском периоде Гондвана двигалась к Южному полюсу, и когда она оказалась в высоких широтах, на ней начали образовываться ледники. Это движение изменило океанические течения: тёплые воды, которые раньше достигали полярных районов, перестали туда поступать, и климат стал более континентальным. Кроме того, движение материков изменило циркуляцию воды в океанах, и это могло повлиять на распределение тепла и питательных веществ. Движение материков — медленный процесс, но его последствия могут быть очень значительными, потому что они меняют всю систему циркуляции. В Ордовикско-силурийском вымирании движение

Гондваны к полюсу стало спусковым крючком, который запустил цепочку изменений: оледенение, падение уровня моря, похолодание вод, изменение циркуляции. Эта цепочка и привела к кризису.

Изменение содержания углекислого газа в атмосфере — ещё один фактор, который мог способствовать похолоданию. Углекислый газ — это парниковый газ, и его снижение приводит к охлаждению планеты. В Ордовикском периоде содержание углекислого газа, вероятно, снижалось, и это могло быть связано с выветриванием горных пород, которое поглощает углекислый газ, или с ростом растений, которые тоже поглощают его. Снижение содержания углекислого газа могло усилить похолодание, вызванное движением материков, и вместе эти два фактора создали условия для оледенения. Взаимодействие геологических и биологических процессов — характерная черта многих вымираний, и Ордовикско-силурийское событие здесь не исключение. Понимание этого взаимодействия важно, потому что оно показывает, что климат Земли зависит от множества факторов, которые могут действовать одновременно и усиливать друг друга.

Роль кислорода в Ордовикско-силурийском вымирании обсуждается меньше, но она может быть значительной. Похолодание и изменение циркуляции океана могли привести к тому, что глубинные воды стали беднее кислородом, потому

что холодная вода содержит больше кислорода, но она также может быть изолирована от атмосферы. Кроме того, падение уровня моря сократило площадь мелководий, где вода хорошо перемешивается и обогащается кислородом. В результате организмы, живущие в глубинных водах или в осадке, могли столкнуться с недостатком кислорода. Кислородное голодание — это ещё один фактор, который мог усилить кризис и сделать его более масштабным. В истории Земли кислородное голодание не раз становилось причиной вымираний, и Ордовикско-силурийское событие, возможно, один из первых примеров этого механизма.

Вулканизм как причина Ордовикско-силурийского вымирания обсуждается меньше, чем оледенение, но и он мог играть роль. Крупные извержения вулканов выбрасывают в атмосферу пепел и газы, которые могут изменить климат: пепел отражает солнечный свет и вызывает похолодание, а газы, такие как углекислый газ и сернистый ангидрид, могут действовать по-разному. В Ордовикском периоде вулканическая активность была значительной, и некоторые исследователи связывают её с началом похолодания. Однако вулканизм обычно действует коротко, а оледенение длится долго, поэтому вулканизм скорее мог быть спусковым крючком, а не основной причиной. В любом случае, вулканизм — это ещё один фактор, который мог внести вклад в кризис, и его роль в Ордовикско-силурийском вымирании остаётся пред-

метом исследований.

Как бы то ни было, главный механизм Ордовикско-силурийского вымирания ясен: похолодание и падение уровня моря уничтожили среду обитания для большинства морских организмов. Этот механизм отличается от Эдиакарского, где главную роль играли новые животные и разрушение микробных матов, и от более поздних вымираний, где важную роль играли астероиды или траппы. Ордовикско-силурийское вымирание — это пример климатического кризиса, и он показывает, что климат может быть не менее разрушительным, чем удар из космоса. В истории Земли климатические кризисы происходили не раз, и каждый раз они оставляли след в летописи. Ордовикско-силурийское вымирание — первый крупный пример, и поэтому оно важно для понимания того, как климат влияет на жизнь. Именно поэтому эта глава уделяет так много внимания механизму: без него разговор о вымирании превращается в перечисление фактов.

После кризиса морская фауна восстановилась, но уже в новом составе, и это восстановление заняло несколько миллионов лет. Восстановление шло не равномерно: одни группы вернулись быстро, другие медленно, третьи не вернулись вовсе. Брахиоподы восстановились, но с другими доминирующими группами. Трилобиты восстановились частично. Кораллы вернулись, но рифы стали другими. Граптолиты вос-

становились, но их разнообразие было ниже, чем до кризиса. Восстановление — это не возврат к прежнему состоянию, а построение нового, и это важная мысль, которая будет повторяться в книге. После вымирания жизнь не возвращается к тому, что было, а строит что-то новое из того, что осталось. Именно поэтому вымирание — это революция, а не просто потеря: оно меняет направление развития.

Смена доминирующих групп — одна из самых заметных черт восстановления после Ордовикско-силурийского вымирания. Группы, которые были редкими до кризиса, после него стали многочисленными и разнообразными. Это связано с тем, что освободившиеся места заполняются теми, кто может их занять, а не теми, кто был там раньше. В эволюции это называется адаптивной радиацией: группа, которая получает доступ к новым ресурсам, быстро диверсифицируется. После Ордовикско-силурийского вымирания адаптивная радиация произошла в нескольких группах, и это привело к новому облику морской жизни. Смена доминантов — это ещё один пример того, что вымирание не просто уничтожает, но и создаёт возможности. Эти возможности используют те, кто выжил, и результат может быть совершенно неожиданным.

Восстановление после вымирания — это процесс, который зависит от многих факторов: от того, насколько глубо-

ким был кризис, от того, какие убежища сохранились, от того, как быстро изменились условия. В Ордовикско-силурийском вымирании восстановление заняло несколько миллионов лет, и это довольно быстро по сравнению с некоторыми другими вымираниями, где восстановление растягивалось на десятки миллионов лет. Быстрое восстановление связано с тем, что кризис был вызван внешними факторами, которые действовали ограниченное время: когда оледенение закончилось и уровень моря поднялся, условия снова стали благоприятными. В отличие от этого, вымирания, вызванные внутренними процессами, могут длиться дольше, потому что причина не исчезает. Ордовикско-силурийское вымирание — пример того, что внешний кризис может быть острым, но коротким, и восстановление после него идёт быстрее, чем после кризиса, вызванного внутренними причинами.

Силурийский период, который последовал за Ордовикским вымиранием, был временем восстановления и новых экспериментов. В Силуре появились новые группы животных, в том числе первые челюстные рыбы, которые стали важной частью морских экосистем. Появились новые рифообразующие организмы, которые строили рифы иного типа, чем Ордовикские. Растения начали выходить на сушу, и это открыло новую страницу в истории жизни. Силур — это период, когда жизнь оправилась от кризиса и продолжила раз-

виваться, и это показывает, что вымирание не останавливает эволюцию, а меняет её направление. Силурийский мир был не хуже Ордовикского, он был другим, и это различие важно для понимания того, что вымирание — не конец, а переход.

Связь между Ордовикско-силурийским вымиранием и последующими событиями не всегда очевидна, но она есть. Кризис расчистил место для новых групп, и некоторые из этих групп стали доминирующими в последующие периоды. Челюстные рыбы, которые появились в Силуре, стали важной частью морской жизни в Девоне, и их появление, возможно, связано с освободившимися нишами. Рифы, которые восстановились после кризиса, стали основой для новых экосистем. Растения, которые вышли на сушу, создали новые местообитания, которые позже заселили животные. Всё это показывает, что вымирание не изолировано: оно влияет на последующие события, и это влияние может быть очень длительным. Ордовикско-силурийское вымирание — это не только событие в Ордовике, но и начало цепи, которая привела к новым формам жизни.

Сравнение Ордовикско-силурийского вымирания с Эдиакарским полезно, потому что оно показывает, как разные механизмы приводят к разным результатам. Эдиакарское вымирание было связано с появлением новых животных и разрушением среды, и его результат — полная смена мира. Ор-

довикско-силурийское вымирание было связано с климатом и падением уровня моря, и его результат — сокращение разнообразия и смена доминантов, но не полная смена мира. Разница в механизмах приводит к разнице в последствиях: внутренние причины могут изменить мир глубже, чем внешние, потому что они меняют сами правила игры. Внешние причины, такие как климат, действуют на существующие правила и могут быть очень разрушительными, но они не меняют правила так радикально. Это сравнение полезно для понимания того, что вымирания бывают разными, и что их последствия зависят от механизма.

Ещё одно сравнение касается темпов. Эдиакарское вымирание, вероятно, было растянутым, а Ордовикско-силурийское — более быстрым, хотя и оно шло в несколько этапов. Быстрые вымирания оставляют меньше времени для адаптации, и поэтому они могут быть более разрушительными для отдельных групп. Медленные вымирания дают организмам шанс мигрировать или приспособиться, и поэтому они могут быть менее разрушительными, но более глубокими, потому что изменения накапливаются. В Ордовикско-силурийском вымирании темпы были средними: кризис шёл импульсами, и это давало организмам некоторое время между ударами. Понимание темпов важно, потому что оно объясняет, почему одни группы выжили, а другие нет: те, кто успел адаптироваться между импульсами, получили преимущество.

Роль случая в Ордовикско-силурийском вымирании тоже значительна. Организмы, которые оказались в убежищах, пережили кризис, даже если не были особенно приспособлены. Убежища могли быть разными: глубоководные участки, где условия менялись меньше, мелководья в низких широтах, где похолодание было не таким сильным, или регионы, где падение уровня моря было менее значительным. Мы не знаем точно, где были эти убежища, но их существование вероятно, потому что некоторые группы пережили кризис, который должен был их уничтожить. Случайность не отменяет закономерностей, но она делает историю непредсказуемой в деталях, и это важно помнить, когда мы говорим о выживании и гибели. В эволюции нет справедливости: выживает не самый приспособленный, а тот, кто оказался в нужном месте в нужное время.

Ордовикско-силурийское вымирание повлияло и на экосистемы, а не только на отдельные группы. Когда исчезли рифы, исчезли и экосистемы, которые от них зависели. Когда сократился планктон, сократились и организмы, которые им питались. Когда осушились мелководья, исчезли места обитания для множества видов. Эти изменения на уровне экосистем важнее, чем гибель отдельных видов, потому что они меняют структуру жизни. После кризиса экосистемы восстановились, но уже в другом виде: с другими доминантами, с

другими связями, с другой продуктивностью. Восстановление экосистем — это медленный процесс, который может занимать миллионы лет, и он не всегда приводит к прежнему состоянию. Ордовикско-силурийское вымирание показывает, что экосистемы могут быть разрушены и восстановлены, но восстановление — это не возврат, а новое строительство.

Отдельный вопрос — как Ордовикско-силурийское вымирание повлияло на эволюцию морской жизни в долгосрочной перспективе. Прямое влияние установить трудно, но можно говорить о том, что кризис расчистил место для новых групп и ускорил их эволюцию. Челюстные рыбы, которые появились после кризиса, стали важной частью морской жизни и в конечном счёте дали начало наземным позвоночным. Рифы, которые восстановились, стали основой для новых экосистем. Планктон, который восстановился, поддержал новые пищевые сети. Всё это показывает, что вымирание не только уничтожает, но и создаёт условия для нового. Это не значит, что вымирание полезно: цена его высока, и погибшие виды не возвращаются. Но это значит, что вымирание — часть процесса, в котором жизнь меняется и продолжается.

С точки зрения современной науки, Ордовикско-силурийское вымирание интересно тем, что оно даёт модель климатического кризиса. В наше время климат тоже меняет-

ся, и хотя причины другие, механизмы могут быть похожими: изменение температуры, уровня моря, циркуляции океана. Изучение Ордовикско-силурийского вымирания помогает понять, как климатические изменения влияют на морскую жизнь, какие группы оказываются уязвимыми, как долго длится восстановление. Конечно, аналогия неполная: современный мир устроен иначе, и человек играет роль, которой не было в Ордовике. Но механизмы похожи, и это делает изучение древнего кризиса практически значимым. Книга не даёт рецептов, но она показывает, что уроки прошлого могут быть полезны для понимания настоящего.

Есть и более широкий урок, который можно извлечь из Ордовикско-силурийского вымирания. Он состоит в том, что климат — это не фон, а активный участник истории жизни. Изменение климата может быть таким же разрушительным, как удар астероида, и оно может действовать на огромных площадях и в течение долгого времени. В истории Земли климатические кризисы происходили не раз, и каждый раз они оставляли след. Ордовикско-силурийское вымирание — первый крупный пример, и поэтому оно важно для понимания того, как климат взаимодействует с жизнью. Это взаимодействие двустороннее: жизнь влияет на климат, климат влияет на жизнь, и вымирание — один из узлов этой связи. Понимание этой связи необходимо для понимания истории жизни в целом.

Наконец, стоит сказать о том, что Ордовикско-силурийское вымирание — это не только событие прошлого, но и часть нашей истории. Мы, люди, являемся потомками существ, которые пережили это вымирание, и наша история началась в мире, который сформировался после него. Морская жизнь, которая восстановилась после кризиса, дала начало многим группам, которые существуют до сих пор. Рыбы, которые появились в Силуре, дали начало всем позвоночным, включая нас. Рифы, которые восстановились, стали домом для множества организмов, которые существуют и сегодня. Всё это связывает нас с Ордовикским вымиранием, хотя мы и не осознаём этого. История жизни — это непрерывная цепь, и каждое вымирание — звено в этой цепи. Ордовикско-силурийское вымирание — одно из таких звеньев, и оно заслуживает того, чтобы его помнили.

Восстановление после Ордовикско-силурийского вымирания заняло несколько миллионов лет, и это важно для понимания темпов эволюции. Миллионы лет — это долго по человеческим меркам, но геологически это не так много. Быстрое восстановление показывает, что жизнь обладает значительной способностью к регенерации, если условия становятся благоприятными. Однако эта способность не бесконечна: если кризис слишком глубок или условия не восстанавливаются, восстановление может затянуться или не про-

изойти вовсе. Ордовикско-силурийское вымирание — пример того, что восстановление возможно, но оно требует времени и благоприятных условий. Это важно помнить, когда мы говорим о современном вымирании: если условия не восстановятся, восстановление может быть невозможным.

Силурийский период, который последовал за вымиранием, был временем экспериментов и инноваций. В Силуре появились челюстные рыбы, которые стали важной частью морской жизни. Появились новые группы кораллов, которые строили рифы иного типа. Растения начали выходить на сушу, и это открыло новую страницу в истории жизни. Силур — это период, когда жизнь оправилась от кризиса и продолжила развиваться, и это показывает, что вымирание не останавливает эволюцию, а меняет её направление. Силурийский мир был не хуже Ордовикского, он был другим, и это различие важно для понимания того, что вымирание — не конец, а переход. Этот переход может быть болезненным, но он открывает новые возможности, которые используются теми, кто выжил.

Связь между Ордовикско-силурийским вымиранием и последующими событиями не всегда очевидна, но она есть. Кризис расчистил место для новых групп, и некоторые из этих групп стали доминирующими в последующие периоды. Челюстные рыбы, которые появились в Силуре, стали важ-

ной частью морской жизни в Девоне, и их появление, возможно, связано с освободившимися нишами. Рифы, которые восстановились после кризиса, стали основой для новых экосистем. Растения, которые вышли на сушу, создали новые местообитания, которые позже заселили животные. Всё это показывает, что вымирание не изолировано: оно влияет на последующие события, и это влияние может быть очень длительным. Ордовикско-силурийское вымирание — это не только событие в Ордовике, но и начало цепи, которая привела к новым формам жизни.

Сравнение Ордовикско-силурийского вымирания с Эдиакарским полезно, потому что оно показывает, как разные механизмы приводят к разным результатам. Эдиакарское вымирание было связано с появлением новых животных и разрушением среды, и его результат — полная смена мира. Ордовикско-силурийское вымирание было связано с климатом и падением уровня моря, и его результат — сокращение разнообразия и смена доминантов, но не полная смена мира. Разница в механизмах приводит к разнице в последствиях: внутренние причины могут изменить мир глубже, чем внешние, потому что они меняют сами правила игры. Внешние причины, такие как климат, действуют на существующие правила и могут быть очень разрушительными, но они не меняют правила так радикально. Это сравнение полезно для понимания того, что вымирания бывают разными, и что

их последствия зависят от механизма.

Ещё одно сравнение касается темпов. Эдиакарское вымирание, вероятно, было растянутым, а Ордовикско-силурийское — более быстрым, хотя и оно шло в несколько этапов. Быстрые вымирания оставляют меньше времени для адаптации, и поэтому они могут быть более разрушительными для отдельных групп. Медленные вымирания дают организмам шанс мигрировать или приспособиться, и поэтому они могут быть менее разрушительными, но более глубокими, потому что изменения накапливаются. В Ордовикско-силурийском вымирании темпы были средними: кризис шёл импульсами, и это давало организмам некоторое время между ударами. Понимание темпов важно, потому что оно объясняет, почему одни группы выжили, а другие нет: те, кто успел адаптироваться между импульсами, получили преимущество.

Роль случая в Ордовикско-силурийском вымирании тоже значительна. Организмы, которые оказались в убежищах, пережили кризис, даже если не были особенно приспособлены. Убежища могли быть разными: глубоководные участки, где условия менялись меньше, мелководья в низких широтах, где похолодание было не таким сильным, или регионы, где падение уровня моря было менее значительным. Мы не знаем точно, где были эти убежища, но их существование вероятно, потому что некоторые группы пережили кризис, ко-

торый должен был их уничтожить. Случайность не отменяет закономерностей, но она делает историю непредсказуемой в деталях, и это важно помнить, когда мы говорим о выживании и гибели. В эволюции нет справедливости: выживает не самый приспособленный, а тот, кто оказался в нужном месте в нужное время.

Ордовикско-силурийское вымирание повлияло и на экосистемы, а не только на отдельные группы. Когда исчезли рифы, исчезли и экосистемы, которые от них зависели. Когда сократился планктон, сократились и организмы, которые им питались. Когда осушились мелководья, исчезли места обитания для множества видов. Эти изменения на уровне экосистем важнее, чем гибель отдельных видов, потому что они меняют структуру жизни. После кризиса экосистемы восстановились, но уже в другом виде: с другими доминантами, с другими связями, с другой продуктивностью. Восстановление экосистем — это медленный процесс, который может занимать миллионы лет, и он не всегда приводит к прежнему состоянию. Ордовикско-силурийское вымирание показывает, что экосистемы могут быть разрушены и восстановлены, но восстановление — это не возврат, а новое строительство.

Заканчивая главу, можно сказать, что Ордовикско-силурийское вымирание — это первый крупный климатический кризис в истории жизни, и он задаёт модель, которая будет

повторяться в последующих главах. Похолодание и падение уровня моря уничтожили среду обитания для большинства морских организмов, и это привело к гибели около 85 процентов видов. После кризиса жизнь восстановилась, но уже в новом составе, с новыми доминантами и новыми экосистемами. Этот переход показывает, что вымирание — не только потеря, но и переход к новому состоянию, и что климат играет в этом переходе ключевую роль. Дальше пойдёт разговор о других вымираниях, и каждое из них добавит новую черту к пониманию того, как работает этот механизм. История жизни — это история кризисов и восстановлений, и Ордовикско-силурийское вымирание — один из самых ярких примеров этого процесса.

Девон и Пермь

Позднедевонское вымирание (~372 млн лет назад)

Третье крупное вымирание в истории жизни произошло в конце Девонского периода, примерно 372 миллиона лет назад, и оно занимает особое место среди древних кризисов, потому что его причины до сих пор вызывают споры. В отличие от Ордовикско-силурийского вымирания, где главный виновник — оледенение и падение уровня моря — установлен достаточно надёжно, Позднедевонское событие не имеет одной общепризнанной причины. Одни исследователи указывают на колебания уровня моря и похолодание, другие — на возможные падения астероидов, третьи — на кислородное голодание в глубинных водах, четвёртые — на сочетание всех этих факторов. Именно эта неопределённость делает Позднедевонское вымирание интересным: оно показывает, как наука работает с событиями, у которых нет единственного виновника, и как разные линии доказательств складываются в сложную картину. Для книги это важно, потому что здесь впервые видно, что массовое вымирание может быть результатом не одного удара, а длительной серии потрясе-

ний.

Девонский период, начавшийся около 419 миллионов лет назад и закончившийся около 359 миллионов лет назад, был временем значительных перемен в истории жизни. В морях господствовали рыбы, и разнообразие их росло очень быстро: появились панцирные рыбы, хрящевые рыбы, первые костные рыбы, и некоторые из них достигали огромных размеров. На суше происходила своя революция: растения, которые вышли из воды в Силуре, к Девону образовали первые леса, и эти леса изменили облик планеты. Появились первые насекомые и другие наземные беспозвоночные, а в конце Девона появились первые четвероногие животные — предки всех наземных позвоночных, включая нас. Девонский мир был миром экспериментов и инноваций, и именно эта активность делала его уязвимым к кризисам. Разнообразие и специализация, которые мы видели в Ордовике, в Девоне достигли нового уровня, и этот уровень оказался хрупким.

Моря Девона были полны жизни, и рифы занимали в этой жизни особое место. Девонские рифы строились не только кораллами, но и другими организмами: строматопорами, которые похожи на кораллы, но устроены иначе, и известковыми водорослями. Эти рифы были огромными и разнообразными, и они давали убежище множеству организмов: рыбам,

моллюскам, иглокожим, брахиоподам и многим другим. Рифы были не просто постройками, а целыми экосистемами, которые зависели от множества условий: температуры, солёности, прозрачности воды, наличия питательных веществ. Именно эта сложность делала рифы одновременно самыми богатыми и самыми уязвимыми частями моря. Когда условия менялись, рифы реагировали первыми, и их разрушение запускало цепную реакцию, которая затрагивала все связанные с ними организмы. Позднедевонское вымирание — это в первую очередь кризис рифов, и поэтому разговор о нём начинается с них.

Чтобы понять, почему рифы так уязвимы, нужно разобраться, как они устроены. Риф — это не просто скопление организмов, а сложная система, в которой каждый участник зависит от других. Кораллы и строматопоры строят скелеты из карбоната кальция, и для этого им нужны определённые условия: тёплая вода, достаточное количество света, нормальная солёность. Внутри их тканей живут симбиотические водоросли, которые поставляют им пищу и помогают строить скелеты, и эти водоросли тоже требуют света и тепла. Вокруг рифа живут рыбы, моллюски, ракообразные и другие организмы, которые находят в нём пищу и убежище. Вся эта система держится на балансе условий, и если один из факторов выходит из строя, баланс нарушается. Именно поэтому рифы первыми реагируют на изменения климата и

уровня моря, и именно поэтому их разрушение так заметно в летописи.

Девонские рифы были особенно уязвимы, потому что они достигли высокого уровня специализации. Строматопоры и кораллы, которые их строили, были приспособлены к узкому диапазону условий, и когда эти условия изменились, они не смогли быстро адаптироваться. Кроме того, рифы Девона были обширными и занимали огромные площади, и их разрушение затронуло огромные территории. Когда рифы рухнули, вместе с ними исчезли места обитания для множества организмов, и это запустило волну вымирания, которая прошла по всей морской системе. Разрушение рифов — это не просто гибель кораллов, это гибель целой экосистемы, и последствия этого могут быть гораздо шире, чем прямая гибель строителей рифов. Именно поэтому Позднедевонское вымирание считается одним из самых значительных: оно уничтожило не только отдельные виды, но и целые экосистемы, которые больше не восстановились в прежнем виде.

Колебания уровня моря — один из главных факторов, которые называют причиной Позднедевонского вымирания. В Девоне уровень моря менялся не раз, и эти колебания были связаны с оледенениями на южных материках и с тектоническими движениями. Когда уровень моря падал, мелководья осушались, и рифы, которые жили на мелководьях,

оказывались на суше. Когда уровень поднимался, рифы затоплялись, и им приходилось приспосабливаться к новым условиям. Эти колебания действовали как стресс, который ослаблял рифовые экосистемы и делал их более уязвимыми к другим факторам. В Позднедевонском вымирании колебания уровня моря, вероятно, были одним из главных триггеров, которые запустили кризис. Однако сами по себе колебания уровня моря не объясняют всех деталей вымирания, и поэтому исследователи ищут дополнительные факторы, которые могли усилить эффект.

Похолодание — ещё один фактор, который мог способствовать Позднедевонскому вымиранию. В конце Девона климат стал более прохладным, и это похолодание было связано с оледенением на южных материках. Холодная вода не подходит для тропических рифов, и когда температура упала, рифы оказались в числе первых жертв. Кроме того, похолодание изменило циркуляцию океана, и это могло повлиять на распределение питательных веществ и кислорода. Похолодание действует медленнее, чем удар астероида, но оно может быть не менее разрушительным, если растянуто на миллионы лет и затрагивает целые экосистемы. В Позднедевонском вымирании похолодание, вероятно, было одним из факторов, которые сложились в общий кризис. Однако, как и в случае с колебаниями уровня моря, одного похолодания недостаточно для объяснения всех деталей, и поэтому иссле-

дователи продолжают искать дополнительные причины.

Гипотеза о падении астероидов — одна из самых обсуждаемых причин Позднедевонского вымирания, и она вызывает особенно много споров. В породах позднего Девона найдены следы, которые можно интерпретировать как ударные: микроскопические шарики, зерна кварца с характерными деформациями, повышенное содержание иридия. Эти следы похожи на те, которые находят в породах на границе Мела и Палеогена, где падение астероида доказано достаточно надёжно. Однако в случае Девона картина менее ясна: следы ударных событий найдены в нескольких местах, и не все исследователи согласны с тем, что они связаны с одним крупным ударом. Возможно, было несколько ударов, или удар был, но не он был главной причиной вымирания. Гипотеза об астероидах привлекательна тем, что объясняет резкость кризиса, но она не объясняет его длительность и этапность. Скорее всего, астероиды, если они были, действовали вместе с другими факторами, и их роль остаётся предметом дискуссий.

Кислородное голодание — ещё одна гипотеза, которая объясняет Позднедевонское вымирание. В конце Девона в глубинных водах океана, вероятно, снижалось содержание кислорода, и это создавало условия, в которых могли выжить только немногие организмы. Кислородное голодание

могло быть связано с изменением циркуляции океана, с ростом продуктивности планктона, который при разложении потребляет кислород, или с другими процессами. В породах позднего Девона найдены следы, которые указывают на кислородное голодание: тёмные сланцы, обогащённые органическим веществом, и отсутствие следов жизни в некоторых слоях. Кислородное голодание действует избирательно: оно бьёт по организмам, которые нуждаются в большом количестве кислорода, и щадит тех, кто может обходиться малым. В Позднедевонском вымирании кислородное голодание, вероятно, было одним из факторов, которые усилили кризис и сделали его более масштабным. Однако, как и другие гипотезы, оно не объясняет всех деталей, и поэтому исследователи рассматривают его в сочетании с другими причинами.

Сочетание факторов — это, вероятно, ключ к пониманию Позднедевонского вымирания. Ни одна из гипотез сама по себе не объясняет всех деталей: колебания уровня моря, похолодание, астероиды, кислородное голодание — все они могли действовать вместе, усиливая друг друга. Например, похолодание могло изменить циркуляцию океана и вызвать кислородное голодание, а падение уровня моря могло осушить мелководья и разрушить рифы. Астероид, если он был, мог нанести дополнительный удар в момент, когда система уже была ослаблена. Такое сочетание факторов объясняет, почему вымирание было растянутым и этапным: каж-

дый фактор действовал в своё время, и их эффекты накапливались. В истории Земли такие сочетания встречаются не раз, и Позднедевонское вымирание — один из самых ярких примеров. Именно поэтому эта глава уделяет так много внимания разным гипотезам: без них невозможно понять, как работает механизм вымирания, когда нет одного виновника.

Масштаб потерь в Позднедевонском вымирании оценивается примерно в 75 процентов видов, и это делает его одним из крупнейших в истории. Пострадали не только рифы, но и другие морские экосистемы: брахиоподы, трилобиты, аммоноидеи, рыбы и многие другие группы. Некоторые группы исчезли полностью, другие потеряли большую часть разнообразия, третьи пережили кризис, но уже не восстановили прежнего положения. Масштаб потерь делает Позднедевонское вымирание одним из самых значительных, и именно поэтому оно привлекает внимание исследователей. Однако, как и в случае с другими вымираниями, масштаб потерь — не единственное, что важно: важна ещё и избирательность, потому что она показывает, какие признаки делают организмы уязвимыми. В Позднедевонском вымирании избирательность особенно заметна: рифы пострадали сильнее, чем открытые моря, а мелководные организмы — сильнее, чем глубоководные.

Рифовые экосистемы пострадали от Позднедевонского

вымирания особенно сильно, и это делает его уникальным среди древних кризисов. Девонские рифы, которые строились строматопорами и кораллами, практически исчезли, и на их месте появились рифы нового типа, которые строились другими организмами. Это не значит, что рифы исчезли полностью: они восстановились, но уже в другом виде. Однако сам факт разрушения рифов показывает, насколько уязвимыми могут быть сложные экосистемы. Рифы зависят от множества условий, и когда эти условия меняются, они рушатся быстрее, чем более простые системы. В Позднедевонском вымирании разрушение рифов стало одним из главных событий, и его последствия ощущались ещё долго после того, как кризис закончился. Именно поэтому эта глава так много внимания уделяет рифам: они показывают, как сложность может быть и преимуществом, и уязвимостью.

Строматопоры — одна из групп, которая пострадала от Позднедевонского вымирания особенно сильно, и их судьба показательна. Строматопоры были важными строителями рифов в Девоне, и они образовывали крупные постройки, которые давали убежище множеству организмов. В ходе вымирания строматопоры потеряли большую часть разнообразия, и некоторые группы исчезли полностью. Их уязвимость связана с тем, что они были специализированы к определённым условиям и не могли быстро адаптироваться к изменениям. Кроме того, строматопоры были медленно растущими

организмами, и это делало их уязвимыми к быстрым изменениям среды. После кризиса строматопоры восстановились, но уже не были такими разнообразными и многочисленными, как раньше. Их судьба показывает, что специализация и медленный рост могут быть преимуществом в стабильной среде, но становятся недостатком в кризисе. Эта закономерность будет повторяться и в других вымираниях, и поэтому она важна для понимания общих механизмов.

Кораллы тоже пострадали от Позднедевонского вымирания, и их история похожа на историю строматопоров. Девонские кораллы были разнообразны и образовывали крупные рифы, но в ходе кризиса многие группы исчезли, и разнообразие кораллов резко сократилось. Их уязвимость связана с теми же факторами: специализация, зависимость от симбиотических водорослей, медленный рост. Однако кораллы, в отличие от строматопоров, восстановились быстрее и в конечном счёте стали доминирующими строителями рифов в последующие периоды. Это показывает, что разные группы могут по-разному проходить через кризис, и что восстановление — это не возврат к прежнему состоянию, а новое строительство. Кораллы, которые восстановились после Позднедевонского вымирания, были другими, чем те, которые существовали до него, и это различие важно для понимания того, как работает эволюция после кризиса.

Рыбы, которые были одной из самых разнообразных групп в Девоне, тоже пострадали от вымирания, но их история сложнее. Панцирные рыбы, которые были многочисленны в начале Девона, к концу периода уже теряли разнообразие, и вымирание ускорило их исчезновение. Хрящевые рыбы, которые появились в Девоне, пережили кризис и продолжили существовать, хотя их разнообразие тоже сократилось. Костные рыбы, которые были менее разнообразны в Девоне, после кризиса стали доминирующей группой, и именно они дали начало большинству современных рыб. Эта смена доминантов — характерная черта Позднедевонского вымирания, и она показывает, что кризис может изменить направление эволюции. Группы, которые были редкими до кризиса, после него получают возможность стать многочисленными, и это меняет облик всей экосистемы. Рыбы — один из самых ярких примеров этого процесса, и их история будет важна для понимания последующих периодов.

Растения, которые в Девоне образовали первые леса, тоже пострадали от вымирания, хотя их история менее изучена, чем история морских организмов. Леса Девона состояли из примитивных растений, которые размножались спорами и не имели настоящих листьев. В ходе вымирания некоторые группы растений исчезли, и это изменило облик наземных экосистем. Однако растения в целом пережили кризис и продолжили развиваться, и после Позднедевонского вымирания

появились новые группы, которые стали доминирующими в последующие периоды. Растения важны для понимания вымирания, потому что они влияют на климат и на состав атмосферы, и их изменения могут усиливать или ослаблять кризис. В Позднедевонском вымирании роль растений, вероятно, была значительной, хотя прямых доказательств пока недостаточно. Эта тема требует дальнейших исследований, и она показывает, что вымирания затрагивают не только морские, но и наземные экосистемы.

Связь между морскими и наземными вымираниями — важный аспект Позднедевонского события, и она не всегда очевидна. Когда рифы рушатся, это влияет на морскую жизнь, но может ли это повлиять на жизнь на суше? Ответ не так прост, как кажется. Растения, которые растут на суше, зависят от климата, а климат зависит от океана. Если океан меняет циркуляцию или поглощает больше углекислого газа, это может изменить климат на суше и повлиять на растения. Кроме того, многие наземные организмы зависят от морских ресурсов, например от рыбы, и когда морская жизнь страдает, это может отразиться на наземных экосистемах. В Позднедевонском вымирании связь между морем и сушей, вероятно, была значительной, и это делает событие более сложным, чем кажется на первый взгляд. Понимание этой связи важно для понимания того, как работает биосфера в целом, и поэтому книга уделяет ей отдельное внимание.

Этапность Позднедевонского вымирания — одна из его самых заметных черт, и она отличает его от некоторых других кризисов. Исследования показывают, что вымирание шло не одним ударом, а несколькими импульсами, которые были связаны с колебаниями уровня моря, климата и другими факторами. Каждый импульс уносил свою долю видов, и их эффекты накапливались. Такая этапность означает, что у организмов было время на адаптацию между импульсами, но не хватало времени, чтобы полностью восстановиться. В результате вымирание растянулось на несколько миллионов лет, и его последствия накапливались. Этапность — это ещё один пример того, что массовые вымирания не всегда мгновенны: иногда они представляют собой серию кризисов, которые в сумме дают большой эффект. Для книги это важно, потому что показывает, что механизмы вымираний разнообразны, и сводить их к одному удару было бы упрощением.

Причины Позднедевонского вымирания обсуждаются давно, и здесь есть несколько гипотез, которые не исключают друг друга. Главные кандидаты — колебания уровня моря, похолодание, кислородное голодание и возможные падения астероидов. Каждая из этих гипотез имеет свои доказательства и свои слабые места. Колебания уровня моря подтверждаются геологическими данными, но они не объясняют, почему вымирание было таким глубоким. Похолодание

подтверждается ледниковыми отложениями, но оно действует медленно и не объясняет резких изменений. Кислородное голодание подтверждается тёмными сланцами, но оно могло быть следствием, а не причиной. Астероиды подтверждаются следами ударов, но их роль остаётся неясной. Скорее всего, действовало несколько причин одновременно, и именно их сочетание привело к тому, что вымирание оказалось таким масштабным. Эта неопределённость — не слабость науки, а отражение сложности материала, и она сопровождает весь разговор о Позднедевонском вымирании.

География Позднедевонского мира сильно отличалась от современной, и это важно для понимания механизма вымирания. Материки были собраны иначе, и большая часть суши располагалась в южном полушарии. Северные территории были разбросаны, и между ними существовали обширные мелководные моря. Климат в начале Девона был тёплым, но к концу периода он стал более прохладным, и это изменение затронуло огромные площади. Такая конфигурация делала систему уязвимой к изменениям: когда климат начал меняться, изменения затронули огромные территории, и у организмов не было возможности отступить в более благоприятные районы. География и климат вместе создали условия, в которых кризис, когда он начался, распространился очень быстро. Именно поэтому Позднедевонское вымирание считается одним из самых масштабных: оно затронуло почти

все моря и почти все группы организмов.

Восстановление после Позднедевонского вымирания заняло несколько миллионов лет, и это восстановление было неравномерным. Рифы восстановились медленно, и их новый состав отличался от прежнего. Рыбы восстановились быстрее, и их разнообразие в конечном счёте превысило додевонский уровень. Растения восстановились и продолжили развиваться, и после кризиса появились новые группы, которые стали доминирующими в последующие периоды. Восстановление — это не возврат к прежнему состоянию, а построение нового, и это важная мысль, которая будет повторяться в книге. После вымирания жизнь не возвращается к тому, что было, а строит что-то новое из того, что осталось. Именно поэтому вымирание — это революция, а не просто потеря: оно меняет направление развития. Позднедевонское вымирание — один из самых ярких примеров этого процесса, потому что после него появились новые группы рыб и растений, которые определили облик последующих периодов.

Смена доминирующих групп — одна из самых заметных черт восстановления после Позднедевонского вымирания. Группы, которые были редкими до кризиса, после него стали многочисленными и разнообразными. Костные рыбы, которые были менее разнообразны в Девоне, после кризиса ста-

ли доминирующей группой, и именно они дали начало большинству современных рыб. Растения, которые были примитивными в Девоне, после кризиса дали начало новым группам, которые стали доминирующими в последующие периоды. Эта смена доминантов — характерная черта вымираний, и она показывает, что кризис может изменить направление эволюции. Группы, которые были редкими до кризиса, после него получают возможность стать многочисленными, и это меняет облик всей экосистемы. Позднедевонское вымирание — один из самых ярких примеров этого процесса, и его последствия ощущались ещё долго после того, как кризис закончился.

Восстановление после вымирания — это процесс, который зависит от многих факторов: от того, насколько глубоким был кризис, от того, какие убежища сохранились, от того, как быстро изменились условия. В Позднедевонском вымирании восстановление заняло несколько миллионов лет, и это довольно быстро по сравнению с некоторыми другими вымираниями, где восстановление растягивалось на десятки миллионов лет. Быстрое восстановление связано с тем, что кризис был вызван внешними факторами, которые действовали ограниченное время: когда условия снова стали благоприятными, жизнь восстановилась. В отличие от этого, вымирания, вызванные внутренними процессами, могут длиться дольше, потому что причина не исчезает. Позднедевон-

ское вымирание — пример того, что внешний кризис может быть острым, но коротким, и восстановление после него идёт быстрее, чем после кризиса, вызванного внутренними причинами. Однако это не значит, что восстановление было лёгким: оно потребовало миллионов лет и привело к новому составу жизни.

Каменноугольный период, который последовал за Позднедевонским вымиранием, был временем восстановления и новых экспериментов. В Карбоне появились новые группы рыб, которые стали доминирующими в морях. На суше леса стали ещё более обширными, и появились новые группы растений, которые изменили облик планеты. Появились новые группы насекомых, и некоторые из них достигали огромных размеров. Четвероногие животные, которые появились в конце Девона, в Карбоне стали более разнообразными и заняли разные экологические ниши. Карбон — это период, когда жизнь оправилась от кризиса и продолжила развиваться, и это показывает, что вымирание не останавливает эволюцию, а меняет её направление. Каменноугольный мир был не хуже Девонского, он был другим, и это различие важно для понимания того, что вымирание — не конец, а переход.

Связь между Позднедевонским вымиранием и последующими событиями не всегда очевидна, но она есть. Кризис расчистил место для новых групп, и некоторые из этих групп

стали доминирующими в последующие периоды. Костные рыбы, которые появились после кризиса, стали важной частью морской жизни в Карбоне и Перми. Растения, которые восстановились после кризиса, создали новые местообитания, которые позже заселили животные. Четвероногие, которые появились в конце Девона, в Карбоне стали более разнообразными, и их эволюция привела к появлению рептилий, а затем и млекопитающих. Всё это показывает, что вымирание не изолировано: оно влияет на последующие события, и это влияние может быть очень длительным. Позднедевонское вымирание — это не только событие в Девоне, но и начало цепи, которая привела к новым формам жизни.

Сравнение Позднедевонского вымирания с Ордовикско-силурийским полезно, потому что оно показывает, как разные механизмы приводят к разным результатам. Ордовикско-силурийское вымирание было связано с оледенением и падением уровня моря, и его результат — сокращение разнообразия и смена доминантов. Позднедевонское вымирание было связано с сочетанием факторов, включая колебания уровня моря, похолодание, кислородное голодание и возможные астероиды, и его результат — разрушение рифовых экосистем и смена доминантов. Разница в механизмах приводит к разнице в последствиях: Ордовикско-силурийское вымирание было более острым, а Позднедевонское — более растянутым и более глубоким для рифов. Это срав-

нение полезно для понимания того, что вымирания бывают разными, и что их последствия зависят от механизма. Позднедевонское вымирание — пример того, что сочетание факторов может быть более разрушительным, чем один фактор, даже если каждый из них по отдельности не так силён.

Ещё одно сравнение касается темпов. Ордовикско-силурийское вымирание, вероятно, было быстрым, а Позднедевонское — более растянутым. Быстрые вымирания оставляют меньше времени для адаптации, и поэтому они могут быть более разрушительными для отдельных групп. Медленные вымирания дают организмам шанс мигрировать или приспособиться, но они могут быть более глубокими, потому что изменения накапливаются. В Позднедевонском вымирании темпы были средними: кризис шёл импульсами, и это давало организмам некоторое время между ударами. Понимание темпов важно, потому что оно объясняет, почему одни группы выжили, а другие нет: те, кто успел адаптироваться между импульсами, получили преимущество. Позднедевонское вымирание — пример того, что темпы кризиса могут быть разными, и что это влияет на его последствия.

Роль случая в Позднедевонском вымирании тоже значительна. Организмы, которые оказались в убежищах, пережили кризис, даже если не были особенно приспособлены. Убежища могли быть разными: глубоководные участки, где

условия менялись меньше, мелководья в низких широтах, где похолодание было не таким сильным, или регионы, где колебания уровня моря были менее значительными. Мы не знаем точно, где были эти убежища, но их существование вероятно, потому что некоторые группы пережили кризис, который должен был их уничтожить. Случайность не отменяет закономерностей, но она делает историю непредсказуемой в деталях, и это важно помнить, когда мы говорим о выживании и гибели. В эволюции нет справедливости: выживает не самый приспособленный, а тот, кто оказался в нужном месте в нужное время. Позднедевонское вымирание — ещё один пример этого правила.

Позднедевонское вымирание повлияло и на экосистемы, а не только на отдельные группы. Когда рухнули рифы, исчезли и экосистемы, которые от них зависели. Когда сократился планктон, сократились и организмы, которые им питались. Когда осушились мелководья, исчезли места обитания для множества видов. Эти изменения на уровне экосистем важнее, чем гибель отдельных видов, потому что они меняют структуру жизни. После кризиса экосистемы восстановились, но уже в другом виде: с другими доминантами, с другими связями, с другой продуктивностью. Восстановление экосистем — это медленный процесс, который может занимать миллионы лет, и он не всегда приводит к прежнему состоянию. Позднедевонское вымирание показывает, что

экосистемы могут быть разрушены и восстановлены, но восстановление — это не возврат, а новое строительство. Рифы, которые восстановились после кризиса, были другими, и это различие важно для понимания того, как работает эволюция после вымирания.

Отдельный вопрос — как Позднедевонское вымирание повлияло на эволюцию морской жизни в долгосрочной перспективе. Прямое влияние установить трудно, но можно говорить о том, что кризис расчистил место для новых групп и ускорил их эволюцию. Костные рыбы, которые появились после кризиса, стали важной частью морской жизни и в конечном счёте дали начало большинству современных рыб. Рифы, которые восстановились, стали основой для новых экосистем. Растения, которые восстановились, создали новые местообитания, которые позже заселили животные. Всё это показывает, что вымирание не только уничтожает, но и создаёт условия для нового. Это не значит, что вымирание полезно: цена его высока, и погибшие виды не возвращаются. Но это значит, что вымирание — часть процесса, в котором жизнь меняется и продолжается. Позднедевонское вымирание — один из самых ярких примеров этого процесса, потому что после него появились новые группы рыб и растений, которые определили облик последующих периодов.

С точки зрения современной науки, Позднедевонское вы-

мирание интересно тем, что оно даёт модель комплексного кризиса. В наше время климат тоже меняется, и хотя причины другие, механизмы могут быть похожими: изменение температуры, уровня моря, циркуляции океана, кислородного режима. Изучение Позднедевонского вымирания помогает понять, как сочетание факторов влияет на морскую жизнь, какие группы оказываются уязвимыми, как долго длится восстановление. Конечно, аналогия неполная: современный мир устроен иначе, и человек играет роль, которой не было в Девоне. Но механизмы похожи, и это делает изучение древнего кризиса практически значимым. Книга не даёт рецептов, но она показывает, что уроки прошлого могут быть полезны для понимания настоящего. Позднедевонское вымирание — особенно полезный пример, потому что оно показывает, что кризис может быть результатом не одного удара, а сочетания факторов, и что именно сочетание делает его таким разрушительным.

Есть и более широкий урок, который можно извлечь из Позднедевонского вымирания. Он состоит в том, что сложные экосистемы могут быть более уязвимыми, чем простые, потому что они зависят от большего числа условий. Рифы — самый яркий пример: они были самыми богатыми экосистемами Девона, но они же и пострадали сильнее всего. Эта закономерность будет повторяться и в других вымираниях, и она важна для понимания того, как работает биосфера.

Сложность — это преимущество в стабильной среде, но она становится недостатком в кризисе, потому что сложные системы труднее перестроить. Позднедевонское вымирание — один из самых ярких примеров этой закономерности, и поэтому оно заслуживает такого подробного разговора. Именно сложность делает рифы уязвимыми, и именно сложность делает их интересными для изучения.

Восстановление рифов после Позднедевонского вымирания — это отдельная тема, которая важна для понимания того, как работает восстановление. Рифы не восстановились в прежнем виде: строматопоры, которые были главными строителями в Девоне, после кризиса уже не были так разнообразны и многочисленны. Кораллы, которые были менее значительными в Девоне, после кризиса стали доминирующими строителями рифов. Это изменение состава строителей — характерная черта восстановления после вымирания, и она показывает, что восстановление — это не возврат, а новое строительство. Рифы, которые восстановились после Позднедевонского вымирания, были другими, и это различие важно для понимания того, как работает эволюция после кризиса. Именно поэтому эта глава так много внимания уделяет рифам: они показывают, что вымирание меняет не только состав видов, но и структуру экосистем.

Связь между Позднедевонским вымиранием и эволюцией

четвероногих — ещё одна тема, которая заслуживает внимания. Четвероногие животные появились в конце Девона, незадолго до или во время вымирания, и их появление, возможно, связано с изменениями, которые происходили в это время. Выход на сушу был одним из самых значительных событий в истории жизни, и он произошёл в момент, когда морская жизнь переживала кризис. Это совпадение может быть случайным, но может быть и закономерным: когда морская среда становится нестабильной, организмы ищут новые местообитания, и суша предоставляет такие возможности. Четвероногие, которые вышли на сушу, дали начало всем наземным позвоночным, включая нас, и их появление связано с Позднедевонским вымиранием, хотя эта связь не всегда очевидна. Эта тема требует дальнейших исследований, и она показывает, что вымирания могут иметь неожиданные последствия.

Позднедевонское вымирание — это не только событие прошлого, но и часть нашей истории. Мы, люди, являемся потомками существ, которые пережили это вымирание, и наша история началась в мире, который сформировался после него. Костные рыбы, которые стали доминирующими после кризиса, дали начало всем позвоночным, включая нас. Четвероногие, которые появились в конце Девона, дали начало всем наземным позвоночным, и их эволюция привела к появлению рептилий, млекопитающих и, в конечном счёте, че-

ловека. Всё это связывает нас с Позднедевонским вымиранием, хотя мы и не осознаём этого. История жизни — это непрерывная цепь, и каждое вымирание — звено в этой цепи. Позднедевонское вымирание — одно из таких звеньев, и оно заслуживает того, чтобы его помнили.

Восстановление после Позднедевонского вымирания заняло несколько миллионов лет, и это важно для понимания темпов эволюции. Миллионы лет — это долго по человеческим меркам, но геологически это не так много. Быстрое восстановление показывает, что жизнь обладает значительной способностью к регенерации, если условия становятся благоприятными. Однако эта способность не бесконечна: если кризис слишком глубок или условия не восстанавливаются, восстановление может затянуться или не произойти вовсе. Позднедевонское вымирание — пример того, что восстановление возможно, но оно требует времени и благоприятных условий. Это важно помнить, когда мы говорим о современном вымирании: если условия не восстановятся, восстановление может быть невозможным. Именно поэтому изучение древних вымираний имеет практическое значение.

Каменноугольный период, который последовал за Позднедевонским вымиранием, был временем экспериментов и инноваций. В Карбоне появились новые группы рыб, которые стали доминирующими в морях. На суше леса стали ещё бо-

лее обширными, и появились новые группы растений, которые изменили облик планеты. Появились новые группы насекомых, и некоторые из них достигали огромных размеров. Четвероногие животные, которые появились в конце Девона, в Карбоне стали более разнообразными и заняли разные экологические ниши. Карбон — это период, когда жизнь оправилась от кризиса и продолжила развиваться, и это показывает, что вымирание не останавливает эволюцию, а меняет её направление. Каменноугольный мир был не хуже Девонского, он был другим, и это различие важно для понимания того, что вымирание — не конец, а переход.

Связь между Позднедевонским вымиранием и последующими событиями не всегда очевидна, но она есть. Кризис расчистил место для новых групп, и некоторые из этих групп стали доминирующими в последующие периоды. Костные рыбы, которые появились после кризиса, стали важной частью морской жизни в Карбоне и Перми. Растения, которые восстановились после кризиса, создали новые местообитания, которые позже заселили животные. Четвероногие, которые появились в конце Девона, в Карбоне стали более разнообразными, и их эволюция привела к появлению рептилий, а затем и млекопитающих. Всё это показывает, что вымирание не изолировано: оно влияет на последующие события, и это влияние может быть очень длительным. Позднедевонское вымирание — это не только событие в Девоне, но и на-

чало цепи, которая привела к новым формам жизни.

Сравнение Позднедевонского вымирания с Ордовикско-силурийским полезно, потому что оно показывает, как разные механизмы приводят к разным результатам. Ордовикско-силурийское вымирание было связано с оледенением и падением уровня моря, и его результат — сокращение разнообразия и смена доминантов. Позднедевонское вымирание было связано с сочетанием факторов, включая колебания уровня моря, похолодание, кислородное голодание и возможные астероиды, и его результат — разрушение рифовых экосистем и смена доминантов. Разница в механизмах приводит к разнице в последствиях: Ордовикско-силурийское вымирание было более острым, а Позднедевонское — более растянутым и более глубоким для рифов. Это сравнение полезно для понимания того, что вымирания бывают разными, и что их последствия зависят от механизма. Позднедевонское вымирание — пример того, что сочетание факторов может быть более разрушительным, чем один фактор, даже если каждый из них по отдельности не так силён.

Заканчивая главу, можно сказать, что Позднедевонское вымирание — это первый крупный комплексный кризис в истории жизни, и он задаёт модель, которая будет повторяться в последующих главах. Сочетание факторов — колебаний уровня моря, похолодания, кислородного голодания и воз-

можные астероиды — привело к гибели около 75 процентов видов и к разрушению рифовых экосистем. После кризиса жизнь восстановилась, но уже в новом составе, с новыми доминантами и новыми экосистемами. Этот переход показывает, что вымирание — не только потеря, но и переход к новому состоянию, и что сочетание факторов играет в этом переходе ключевую роль. Дальше пойдёт разговор о других вымираниях, и каждое из них добавит новую черту к пониманию того, как работает этот механизм. История жизни — это история кризисов и восстановлений, и Позднедевонское вымирание — один из самых ярких примеров этого процесса.

Карнийское вымирание (~232 млн лет назад)

Карнийское вымирание занимает в истории жизни особое место, потому что оно плохо вписывается в привычную схему массовых вымираний. Оно произошло в конце Карнийского века, около 232 миллионов лет назад, то есть в середине Триасового периода, а не на границе периодов, как большинство крупных кризисов. По масштабу потерь оно уступает Пермскому, Ордовикско-силурийскому или Мел-Палеогеновому, и долгое время его вообще не выделяли как отдельное событие. Однако по последствиям Карнийское вымирание сопоставимо с самыми крупными кризисами, потому что именно после него динозавры получили возможность стать доминирующей группой на суше. Эта глава показывает, что масштаб вымирания и его значение для истории жизни — не одно и то же, и что относительно небольшой кризис может запустить большую смену господствующих животных.

Чтобы понять Карнийское вымирание, нужно сначала описать Триасовый мир, потому что он сильно отличался от всего, что было раньше. Триасовый период начался около 252 миллионов лет назад, сразу после Пермского вымирания, и его первые миллионы лет были временем восстанов-

ления после самого крупного кризиса в истории. В Триасе на суше господствовали архозавры — группа рептилий, которая включала крокодилов, динозавров и их родственников, а также множество других форм. Среди архозавров были и крупные хищники, и растительноядные формы, и животные, которые передвигались на двух ногах. В морях господствовали аммоноидеи, двустворчатые моллюски, морские рептилии, такие как ихтиозавры и плезиозавры. Триасовый мир был миром после катастрофы, и он был устроен иначе, чем мир до неё. Именно в этом мире и произошло Карнийское вымирание, и его последствия определили облик последующих периодов.

Климат Триаса был в целом тёплым и сухим, и на планете существовали огромные пустынные области. Материки были собраны в суперконтинент Пангею, который протянулся от полюса до полюса, и это создавало особые условия для климата. Внутренние области Пангеи были удалены от океана, и там осадков выпадало мало, что приводило к образованию пустынь. Прибрежные области были более влажными, и там существовали леса и болота. Такая конфигурация материков и климата создавала условия, в которых жизнь на суше была сосредоточена в прибрежных районах, а внутренние области были почти безжизненными. Карнийское вымирание произошло в этом мире, и его причины связаны с процессами, которые происходили в то время. Понимание кли-

мата и географии Триаса важно для понимания того, почему кризис затронул одни группы и не затронул другие.

Главная причина Карнийского вымирания — вулканизм, и это подтверждается геологическими данными. В конце Карнийского века произошли крупные извержения вулканов, которые были связаны с распадом Пангеи и с образованием новых океанических впадин. Эти извержения выбрасывали в атмосферу огромное количество пепла, углекислого газа, сернистого ангидрида и других газов. Пепел отражал солнечный свет и вызывал кратковременное похолодание, а углекислый газ, наоборот, вызывал потепление в долгосрочной перспективе. Сернистый ангидрид мог вызывать кислотные дожди и влиять на химию океана. Всё это вместе создавало условия для кризиса, который затронул и морские, и наземные экосистемы. Вулканизм — это главный триггер Карнийского вымирания, и его последствия были разнообразными и длительными.

Вулканизм действует на климат через несколько механизмов, и их стоит разобрать по отдельности. Во-первых, пепел и аэрозоли, которые выбрасываются в атмосферу, отражают солнечный свет и вызывают кратковременное похолодание, которое может длиться от нескольких месяцев до нескольких лет. Во-вторых, углекислый газ, который тоже выбрасывается при извержениях, накапливается в атмосфере и вызывает

потепление, которое может длиться тысячи и миллионы лет. В-третьих, сернистый ангидрид реагирует с водой и образует серную кислоту, которая выпадает в виде кислотных дождей и влияет на почвы и водоёмы. В-четвёртых, вулканизм может влиять на содержание кислорода в атмосфере и океане, потому что пепел и газы изменяют химические процессы. В Карнийском вымирании, вероятно, действовали все эти механизмы, и их сочетание привело к кризису, который затронул разные группы организмов.

Похолодание, вызванное пеплом, и потепление, вызванное углекислым газом, действуют в разные стороны, и их сочетание создаёт нестабильность климата. В короткой перспективе пепел вызывает похолодание, которое может быть резким и разрушительным для организмов, не приспособленных к холоду. В долгой перспективе углекислый газ вызывает потепление, которое может быть не менее разрушительным, потому что оно меняет распределение климатических зон и уровень моря. В Карнийском вымирании, вероятно, имели место оба эффекта: сначала похолодание, потом потепление, и это создавало условия, в которых организмы не успевали адаптироваться. Такая нестабильность климата — характерная черта вулканических кризисов, и она отличает их от кризисов, вызванных одним фактором. Именно поэтому Карнийское вымирание так интересно: оно показывает, как вулканизм может действовать через климат, и как

климат может быть разрушительным даже без астероида.

Кислотные дожди — ещё один механизм, через который вулканизм влияет на жизнь. Сернистый ангидрид, который выбрасывается при извержениях, реагирует с водой в атмосфере и образует серную кислоту, которая выпадает на землю и в водоёмы. Кислотные дожди могут повреждать растения, растворять раковины морских организмов и изменять химию почв. В Карнийском вымирании кислотные дожди, вероятно, были одним из факторов, которые затронули наземные и морские экосистемы. Растения, которые были чувствительны к кислотности, могли пострадать, а морские организмы с известковыми скелетами могли испытывать трудности с построением раковин. Кислотные дожди — это пример того, как вулканизм может действовать через химию, а не только через климат, и это ещё один механизм, который нужно учитывать при изучении вымираний.

Вулканизм влияет и на содержание кислорода в океане, и это может быть важным фактором для морских организмов. Когда вулканы выбрасывают питательные вещества, это может стимулировать рост планктона, который при разложении потребляет кислород. Кроме того, потепление, вызванное углекислым газом, снижает растворимость кислорода в воде, и это тоже уменьшает его содержание. В результате в океане могут возникнуть зоны с низким содержанием кисло-

рода, где могут выжить только немногие организмы. В Карнийском вымирании кислородное голодание, вероятно, было одним из факторов, которые затронули морские экосистемы. Морские организмы, которые нуждались в большом количестве кислорода, могли пострадать сильнее, чем те, кто мог обходиться малым. Кислородное голодание — это ещё один механизм, через который вулканизм влияет на жизнь, и он будет повторяться в других вымираниях.

Масштаб потерь в Карнийском вымирании оценивается по-разному, и это связано с трудностями датировки и с неполнотой летописи. Одни исследователи считают, что вымирание затронуло около 30 процентов видов, другие — что потери были меньше, третьи — что они были больше. Точные цифры зависят от того, какие группы учитываются и как определяются границы события. Однако даже по самым скромным оценкам Карнийское вымирание было значительным, и его последствия ощущались ещё долго после того, как кризис закончился. Масштаб потерь — не единственное, что важно: важна ещё и избирательность, потому что она показывает, какие группы пострадали, а какие выжили. В Карнийском вымирании пострадали и морские, и наземные группы, и это делает его особенно интересным для изучения.

На суше Карнийское вымирание затронуло архозавров, и это важно для понимания последующих событий. Архозав-

ры были доминирующей группой в Триасе, и среди них были как крупные хищники, так и растительноядные формы. В ходе вымирания некоторые группы архозавров исчезли, другие потеряли разнообразие, третьи пережили кризис и продолжили существовать. Динозавры, которые были одной из групп архозавров, в Карнийском веке были относительно редкими и не занимали доминирующих позиций. Однако после вымирания многие их конкуренты исчезли, и это дало динозаврам возможность стать более многочисленными и разнообразными. Именно Карнийское вымирание часто называют моментом, когда динозавры получили шанс на господство, и это делает его ключевым событием в истории мезозоя.

Динозавры в Карнийском веке были не такими, какими мы их привыкли представлять. Они были относительно небольшими, и среди них были как хищники, так и растительноядные формы. Они ходили на двух ногах, и их тело было приспособлено к быстрому передвижению. В Триасе динозавры сосуществовали с другими архозаврами, которые были более многочисленными и разнообразными. Однако после Карнийского вымирания ситуация изменилась: многие группы архозавров исчезли или потеряли разнообразие, и динозавры получили возможность занять освободившиеся места. Эта смена доминантов — характерная черта вымираний, и она показывает, что кризис может изменить направ-

ление эволюции. Динозавры, которые были редкими до кризиса, после него стали доминирующей группой, и это определило облик мезозоя.

Почему динозавры выжили, а их конкуренты исчезли, — вопрос, на который нет однозначного ответа. Одни исследователи связывают это с тем, что динозавры были более приспособлены к сухому климату, который установился после вымирания. Другие указывают на то, что динозавры были быстрее и эффективнее в передвижении, что давало им преимущество в поиске пищи и в избегании хищников. Третьи считают, что динозавры просто оказались в нужном месте в нужное время, и их выживание было случайным. Скорее всего, действовало несколько факторов одновременно, и именно их сочетание позволило динозаврам пережить кризис и стать доминирующей группой. Эта неопределённость — не слабость науки, а отражение сложности материала, и она сопровождает весь разговор о Карнийском вымирании.

В морях Карнийское вымирание затронуло аммоноидеи, двустворчатых моллюсков, морских рептилий и другие группы. Аммоноидеи, которые были одной из самых разнообразных групп в Триасе, потеряли часть разнообразия, но не исчезли полностью. Двустворчатые моллюски тоже пострадали, но восстановились быстрее, чем некоторые другие группы. Морские рептилии, такие как ихтиозавры и плезиозав-

ры, пережили кризис, но их разнообразие сократилось. Восстановление морских экосистем после Карнийского вымирания заняло несколько миллионов лет, и оно привело к новому составу жизни. Морские организмы, которые выжили, заполнили освободившиеся места, и это привело к новой волне адаптивной радиации. Карнийское вымирание, таким образом, затронуло и море, и сушу, и его последствия ощущались во всех экосистемах.

Связь между вулканизмом и вымиранием не всегда прямая, и это важно подчеркнуть. Вулканизм может вызывать вымирание через климат, через химию, через кислородное голодание, но он может и не вызывать вымирания, если его масштабы невелики или если организмы успевают адаптироваться. В Карнийском вымирании вулканизм был достаточно масштабным, чтобы вызвать кризис, и его последствия были усилены другими факторами. Например, распад Пангеи, который происходил в это время, мог усиливать эффекты вулканизма, потому что он менял циркуляцию океана и климат. Сочетание вулканизма и тектонических процессов — характерная черта Карнийского вымирания, и она делает его более сложным, чем кризисы, вызванные одним фактором. Именно поэтому эта глава уделяет так много внимания механизмам: без них невозможно понять, как вулканизм приводит к вымиранию.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.