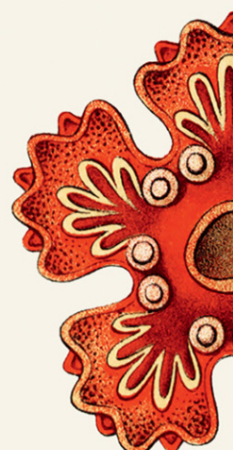
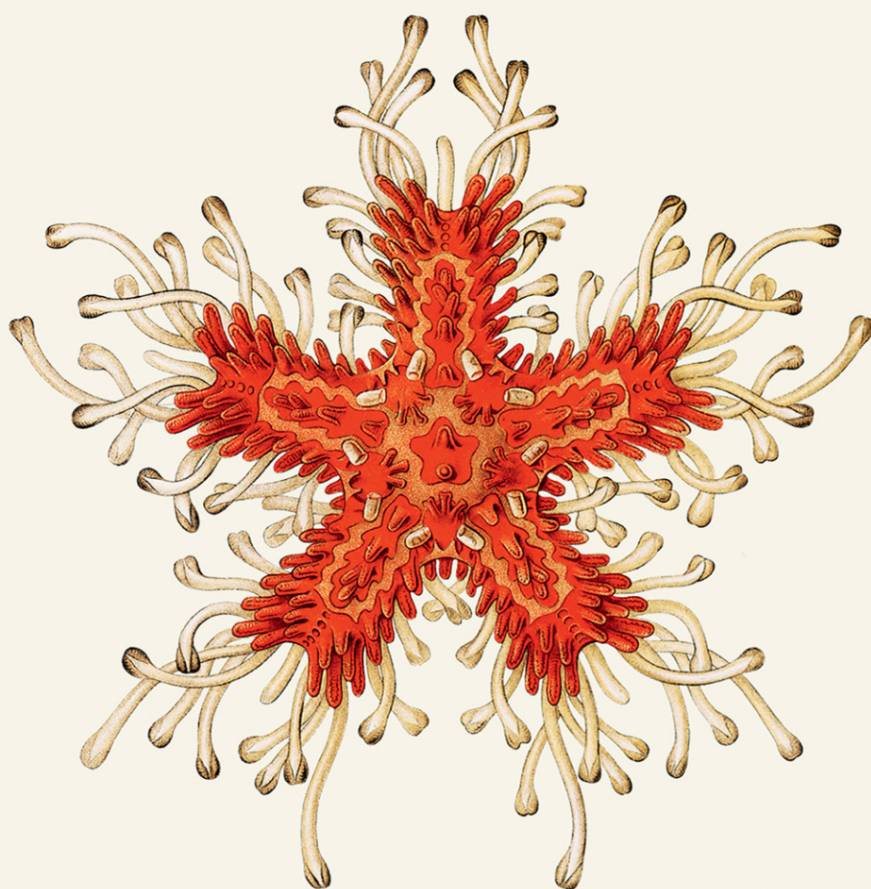


# ОЧЕНЬ КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

4,6 миллиарда лет  
в 12 лаконичных главах



ГЕНРИ ДЖИ

Генри Джи

**Очень краткая история жизни  
на Земле: 4,6 миллиарда  
лет в 12 лаконичных главах**

«Азбука-Аттикус»

2021

УДК 575.8  
ББК 28.02

**Джи Г.**

Очень краткая история жизни на Земле: 4,6 миллиарда лет в 12 лаконичных главах / Г. Джи — «Азбука-Аттикус», 2021

ISBN 978-5-389-21965-6

Сначала Земля представляла собой негостеприимное чужеродное место: на планету непрерывно обрушивались потоки химических веществ, она была покрыта бурлящими океанами, а ландшафт формировали непрекращающиеся извержения вулканов. Посреди этого буйства стихий и катастроф и началась жизнь. Похожие на мыльные пузырьки первые клетки с дерзкой отвагой бросили вызов безжизненному миру. Жизнь на нашей планете сохранялась на протяжении тысячелетий, адаптируясь к любым, без преувеличения, условиям, с которыми могли столкнуться живые организмы, и процветала, пройдя путь от самых первых скромных форм до волнующей и невероятной истории нашего собственного вида. В этой книге, благодаря заразительному энтузиазму и научной точности автора, известного английского палеонтолога и специалиста по эволюционной биологии, перед нами стремительно проносятся последние 4,6 миллиарда лет. Опираясь на новейшие научные данные, Генри Джи ясно и доступно рассказывает поучительную историю о выживании и стойкости, проливающую свет на то, каким хрупким было равновесие, в котором всегда существовала жизнь. «Занимательная, лирическая история». (Nature) В формате PDF A4 сохранён издательский дизайн.

УДК 575.8  
ББК 28.02

ISBN 978-5-389-21965-6

© Жи Г., 2021

© Азбука-Аттикус, 2021

## Содержание

1	9
2	18
3	26
Конец ознакомительного фрагмента.	28

# Генри Джи

## Очень краткая история жизни на Земле: 4,6 миллиарда лет в 12 лаконичных главах

*Памяти Джесси Клэк (1947–2020), наставника и друга*

Henry Gee

A (VERY) SHORT HISTORY OF LIFE ON EARTH

4.6 Billion Years in 12 Chapters

Впервые опубликовано в 2021 г. издательством Picador, импринтом Pan Macmillan

© Henry Gee, 2021

© Быстрицкий А. А., перевод на русский язык, 2022

© Издание на русском языке. ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус», 2022

КоЛибри®

\* \* \*

Не пропустите этот восхитительный, краткий и всеобъемлющий шедевр! Генри Джи блестяще представил в сжатом виде всю невероятную, удивительную историю жизни на Земле, и получилось очаровательное, живое и научно обоснованное повествование. Я действительно не мог оторваться от этой книги, и вы не сможете.

*Дэниел Либерман, доктор биологических наук, профессор Гарвардского университета*

Непринужденный и краткий рассказ об эволюции, похожий на историю похождения современного Вилли Вонки в пространстве генетики. Во время большого путешествия Джи восторженно раскрывает детали хроники, составляющие основу непредсказуемого и зачастую причудливого исследования биологической формы и функции в процессе развития жизни.

*Адриан Вулфсон, The Washington Post*

Эта поучительная книга еще долгие годы будет привлекать внимание читателей.

*Booklist*

В ярком повествовании о том, как развивалась жизнь на Земле, Генри Джи видит красоту даже в невзгодах... Насыщенная событиями и фактами, эта прекрасно рассказанная история порадует даже неподготовленных читателей.

*Publishers Weekly*

Генри Джи пренебрегает естественной склонностью людей считать себя особыми и помещает нас на свое место в грандиозной структуре бытия.

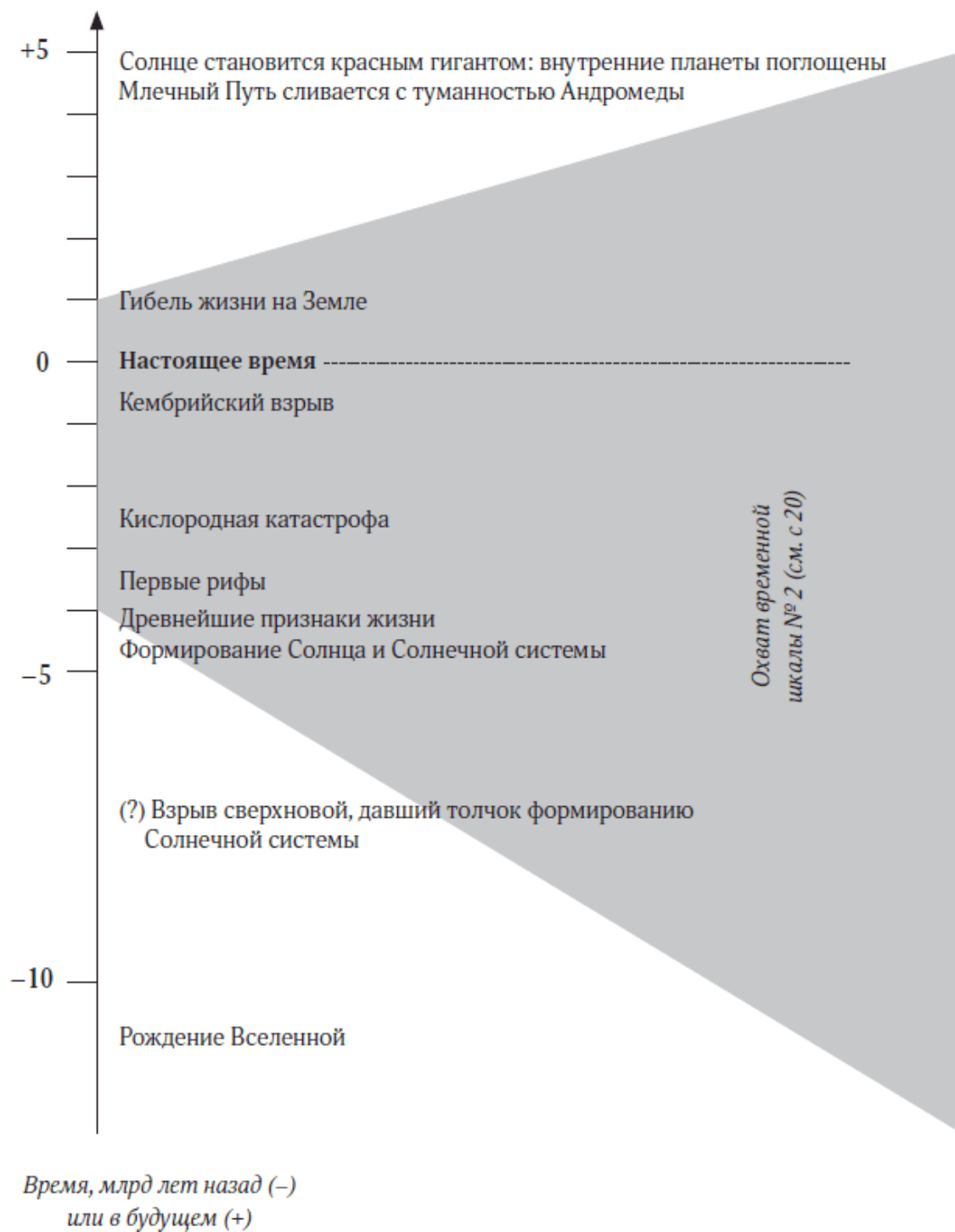
*Джон Гриббин, автор «В поисках кота Шрёдингера: квантовая физика и реальность»*

Джи не только отправляет нас в прошлое, но и возвращает нам детскую способность удивляться. Если вам свойственно на фоне ежедневных забот иногда ненадолго остановиться и задаться вопросом «Как появилось все драгоценное многообразие жизни?», вы легко сможете найти ответы на этих страницах.

*Geographical*

\* \* \*

## **Временная шкала № 1. Земля во Вселенной**





# 1

## Песнь льда и пламени

Давным-давно умирала гигантская звезда. Миллионы лет она сверкала на небосводе, но ее термоядерная топка сожгла дотла все, что могло в ней пылать. Сияние звезды подпитывалось энергией синтеза ядер гелия из протонов. Шла энергия синтеза и на более серьезные, хоть и менее блестящие, цели – именно она обеспечивала целостность звезды, противостоя гравитационному схлопыванию звезды внутрь себя самой. Когда запасы водорода иссякли, звезда начала сжигать гелий, синтезируя более тяжелые элементы – такие как углерод и кислород. Затем, однако, и эти запасы подошли к концу.

Настал день, когда ядерное топливо выгорело полностью. Гравитация выиграла сражение – звезда провалилась в себя. Коллапс, завершивший миллионы лет жизни звезды, занял считанные секунды. Отзвук коллапса был настолько силен, что озарил Вселенную – так вспыхнула сверхновая. Если в этой планетной системе и была какая-то жизнь, она была испепелена. Но катастрофическая смерть звезды посеяла семена новой жизни. Во все стороны от места взрыва рассеялись еще более тяжелые, чем углерод и кислород, элементы, образовавшиеся в горниле катаклизма – кремний, никель, сера, железо.

Спустя миллионы лет гравитационная ударная волна от взрыва сверхновой достигла облака газа, пыли и ледяных обломков. Взбаламученное гравитационной волной облако стало сжиматься, а сжимаясь, оно начало вращаться. Гравитационные силы настолько сжали газ в центре облака, что там начался ядерный синтез: протоны сливались в ядра гелия, выделяя тепло и свет. Круг звездной жизни замкнулся: смерть древней звезды дала толчок к появлению новой – нашего Солнца.

Газопылевое облако было обогащено элементами, родившимися в результате взрыва сверхновой. В закручивающемся вокруг юного Солнца облаке конденсировались планеты. Среди них – наша Земля. Новорожденная планета была совсем не такой, какой мы привыкли ее видеть: атмосфера была совершенно непригодным для дыхания маревом из метана, углекислоты, водяного пара и водорода, поверхность представляла собой океан расплавленной лавы, застыть которой не давали постоянные падения астероидов, комет – и даже других планет. Среди них была и Тейя – протопланета размером с нынешний Марс<sup>1</sup>. Удар Тейи пришелся по касательной. Значительная часть земной мантии была сорвана с планеты в космос, а сама Тейя от удара разрушилась полностью. Все эти остатки не улетели далеко – несколько миллионов лет Земля щеголяла кольцами подобно Сатурну. Постепенно материал колец собрался в единую массу, образовав новый мир – Луну<sup>2</sup>. Все это произошло примерно 4,6 миллиарда лет назад.

Прошли еще миллионы лет. Настал день, когда Земля остыла настолько, что атмосферный водяной пар смог сконденсироваться и пролиться дождем. Дожди шли миллионы лет – достаточно, чтобы создать первые океаны. И кроме океанов, не было ничего – ни клочка суши. Бывшая когда-то огненным шаром, Земля стала водным миром – но не стала спокойным местом. В те дни Земля вращалась вокруг своей оси гораздо быстрее, чем сейчас. А с юной Луной, висевшей ниже над черным горизонтом, каждый прилив представлял собой цунами.

---

<sup>1</sup> См., например: *Canup R. M. and Asphaug E. Origin of the Moon in a giant impact near the end of the Earth's formation* // *Nature*. 2001. 412: 708–712; *Melosh J. A new model Moon* // *Nature*. 2001. 412: 694–695.

<sup>2</sup> Это объясняет, почему Земля и Луна имеют похожий состав, но Луна при этом немного отличается. В отличие от многих других спутников в Солнечной системе Луна очень велика по сравнению со своей родительской планетой (в данном случае Землей). См.: *Mastrobuono-Battisti A. et al. A primordial origin for the compositional similarity between the Earth and the Moon* // *Nature*. 2012. 520: 212–215.

Планета – это не просто куча булыжников. Любая планета, если она больше нескольких сотен километров в диаметре, со временем разделяется внутри на слои. Более легкие материалы – такие как кремний, алюминий и кислород – образуют легкую пену у поверхности, а более плотные – никель и железо, – погружаясь, становятся ядром. Ядро сегодняшней Земли – вращающийся шар из жидкого (внешнее ядро) и твердого металла (внутреннее ядро). Ядро подогревается гравитацией и распадом радиоактивных элементов вроде урана, синтезированного в последние мгновения взрыва древней сверхновой. Земля вращается, поэтому ее металлическое ядро генерирует магнитное поле. Завитки этого поля, пронизывая всю планету, простираются далеко в космос и, словно щитом, закрывают планету от солнечного ветра – непрерывного урагана энергетических частиц, извергаемого Солнцем. Несущие электрический заряд, эти частицы отталкиваются магнитным полем Земли или движутся вдоль силовых линий магнитного поля вокруг нашей планеты, уходя в космос.

Исходящее от ядра Земли тепло подогревает всю планету, словно кастрюлю с водой на плите. Восходящий жар, размягчая наружные слои, раскалывает плотную, но легкую кору на части, и, растаскивая эти части в стороны, формирует между ними океаны. Эти части, называемые литосферными плитами, находятся в непрерывном движении. Они сталкиваются друг с другом, скользят друг вдоль друга или подныривают одна под другую. В результате этих смещений образуются высокие горы и глубокие желоба в океане. Движения плит порождают землетрясения и вулканы. Это создает новые земли.

Одновременно с горами, устремлявшимися к небесам, обширные участки коры затягивались в глубины Земли в глубоководных желобах по границам литосферных плит. Вместе с осадочными породами и морской водой эти скалы уходили далеко в недра планеты лишь для того, чтобы снова вернуться на поверхность уже в новом виде. Осадки, нашедшие свой приют на дне у берегов исчезнувших континентов, могли вновь оказаться на поверхности спустя сотни миллионов лет благодаря извержениям вулканов<sup>3</sup> или же замереть в глубинах, превратившись в алмазы.

Посреди всего этого смятения и невзгод возникла жизнь. Смятения и невзгоды выкармливали ее, выныривали, устремляли ее рост и способствовали ее росту и становлению. Жизнь возникла в глубочайших безднах океана, где края литосферных плит врезаются в земную кору и где струи перегретой воды, богатой растворенными минералами, под чудовищным давлением изливаются из трещин океанического ложа.

Первые формы жизни были не более чем пенистыми мембранами, затягивавшими крошечные щели в скалах. Они образовывались, когда восходящие потоки, становясь турбулентными, дробились на водовороты и, теряя мощь, оставляли свой богатый минералами груз<sup>4</sup> в порах и щелях скал. Такие мембраны были несовершенны и похожи на решето. Словно решето, одни вещества они пропускали, а другие – нет. Но содержимое даже столь несовершенных мембран становилось иным – это был уже не бушующий снаружи вихрь, а нечто более размеренное, более упорядоченное. Старый сруб – одни стены да крыша – все же убежище от бушу-

---

<sup>3</sup> Чтобы было понятно, насколько активной остается Земля до сих пор: литосферная плита, на которой расположена Австралия, движется на север в сторону Индонезии, сминая Евразийскую плиту, вдвое быстрее, чем отрастают ногти у профессора Вуллонгонгского университета Берта Роберта (если верить Берту, скорость роста ногтей непостоянна). Казалось бы, это немного, но представьте, сколько миллионов лет длится это движение. В результате столкновения с Евразийской плитой северная окраина острова Ява загibaется вниз, погружаясь в море. Полетайте, как я, над северным берегом Явы – вы увидите, что самые северные районы Джакарты уже в историческое время ушли под воду. А вот Берт регулярно стрижет ногти.

<sup>4</sup> Поскольку эта книга больше повествование, чем научный труд, то в ней я буду говорить о вещах разной степени доказанности. Пожалуй, обстоятельства возникновения жизни – наиболее туманные из всего моего повествования, кроме разве что значительной части главы 12. Обсуждение этого вопроса приближается к методу научного тыка. Отчасти проблема заключается в том, что крайне сложно дать определение самому понятию «жизнь» – эта тема затронута Карлом Циммером в его книге «Границы жизни» (Zimmer C. *Lives Edge*. Random House, 2020).

ющей снаружи бури, пусть даже дверь провисла и ставни гремят на ветру. Мембраны обратили свои недостатки в достоинства, впуская через поры питательные вещества и энергию и выбрасывая отходы<sup>5</sup>.

Укрывшись от химического шума бурлящего мира, эти тихие заводы стали оплотом порядка. Постепенно они отточили производство энергии, благодаря которой смогли отпочковывать маленькие пузырьки, заключенные в долю родительской мембраны. Беспорядочный вначале, этот процесс постепенно становился все более предсказуемым по мере того, как сформировалась внутренняя химическая матрица, которую можно было копировать и передавать новым поколениям ограниченных мембраной пузырьков. В результате новые поколения оказывались более или менее верными копиями своих родителей. Более эффективные пузырьки начали процветать – за счет своих менее организованных сородичей.

Эти простые пузырьки нашли способ остановить, пусть временно и с большими усилиями, в иных случаях непрерывный рост энтропии – общего количества хаоса во Вселенной, – шагнув на порог врат жизни. Такова глубинная суть жизни. Пенящийся первичный бульон бросил вызов безжизненному миру<sup>6</sup>.

Самая, пожалуй, восхитительная черта жизни – помимо самого факта ее существования – скорость ее появления. Спустя лишь 100 миллионов лет после формирования Земли как таковой жизнь пробудилась в вулканических глубинах, когда на юную планету из космоса все еще обрушивались тела таких же размеров, как и приведших к появлению крупнейших ударных кратеров на поверхности Луны<sup>7</sup>. Уже 3,7 миллиарда лет назад жизнь выбралась из вечной тьмы морских глубин в залитые солнечным светом поверхностные воды<sup>8</sup>, а 3,4 миллиарда лет назад неисчислимые сонмы живых существ начали скапливаться, создавая видимые из космоса рифы<sup>9</sup>. Жизнь окончательно освоилась на Земле.

---

<sup>5</sup> Мембраны, в частности, накапливают электрическую энергию и позволяют ей рассеиваться, выполняя полезную работу – например запуская химические реакции. Именно так работает батарейка. Электричество было основой жизни тогда точно так же, как и сейчас. Его мощь удивительна. Учитывая, что разность зарядов внутри и снаружи клеток измерима, но расстояние это ничтожно, разность потенциалов оказывается очень большой – порядка 40–80 мВ (милливольт). Ник Лейн в своей книге очень живо рассказывает о вкладе электрического заряда в зарождение жизни и во многое другое. См.: *Lane Nick. The Vital Question*. L.: Profile, 2005 (*Лейн Н. Вопрос жизни: энергия, эволюция и происхождение сложности* / Пер. с англ. Ксении Сайфулиной и Матвея Колесника. М.: АСТ; Corpus, 2018).

<sup>6</sup> Представьте себе подростков, рассудочность и сознательность к которым приходит, лишь когда они сеют хаос вокруг себя.

<sup>7</sup> Сохранившиеся с первых дней Земли древнейшие породы имеют возраст от 3,8 до 4 миллиардов лет, хотя крошечные, но очень долговечные кристаллы минерала циркона могут быть старше 4,4 миллиарда лет. Они образовались при выветривании еще более древних пород, с тех пор исчезнувших без следа. Иногда в этих древних цирконах встречаются признаки – призраки воспоминаний о мимолетной тени – того, что этим же путем прошла и жизнь. Живой материи свойственна особая химия, основанная на атомах углерода. Почти все атомы углерода относятся к разновидности – изотопу – углерод-12, но всегда есть очень небольшое количество атомов чуть более тяжелого углерода-13. Химические реакции в живых организмах отторгают углерод-13, поэтому живая материя обогащена углеродом-12 по сравнению с ее неорганическим окружением. Это обогащение можно измерить. Древнейшие горные породы, содержащие углерод с меньшей, чем ожидалось, долей углерода-13, возможно, свидетельствуют о существовании в те времена жизни, даже если от нее не осталось никаких остатков тел – так же, как висящая в воздухе улыбка Чеширского кота однозначно говорит, что он только что был тут. На такого рода доказательства опираются утверждения о существовании на Земле жизни не менее 4,1 миллиарда лет назад. Кристаллы циркона с крохотными вкраплениями графита, в котором углерода-12 больше, чем следовало бы, указывают на то, что жизнь на Земле началась еще до появления самых первых скал. См.: *Wilde S. A. et al. Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago* // *Nature*. 2001. 409: 175–178.

<sup>8</sup> См.: *Javaux E. Challenges in evidencing the earliest traces of life* // *Nature*. 2019. 572: 451–460. Полезное напоминание о проблемах, возникающих при интерпретации древнейших ископаемых.

<sup>9</sup> К моменту написания этой книги самые древние общепризнанные свидетельства существования жизни на Земле найдены в кремнистых сланцах в Стрелли-Пул в Австралии. Там сохранились останки не одного-двух ископаемых, но целой рифовой экосистемы, процветавшей в теплых, пронизанных солнечными лучами океанских водах около 3,43 миллиарда лет назад. См.: *Allwood A. C. et al. Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia* // *Nature*. 2006. 441. 714–718. Есть и другие находки, датируемые возрастом до 4 миллиардов лет и даже старше, но их статус надо уточнить.

Те рифы, впрочем, не были коралловыми – до появления кораллов оставалось еще почти 3 миллиарда лет. Первые рифы состояли из тончайших слизистых нитей и пленок зеленоватого цвета, образованных микроскопическими цианобактериями (синезелеными водорослями) – теми же организмами, сплошными синева-зелеными слоями которых в жаркую погоду зарастают лужи и пруды. Такими же слоями они покрывали в те далекие времена скалистые и песчаные участки мелководья. Штормы засыпали эти слои песком, но водоросли нарастали вновь, чтобы быть засыпанными следующим штормом. Так день за днем, год за годом нарастали подушкообразные холмы из чередующихся слоев слизи и отложений. Эти похожие на холмы образования – строматолиты – станут самыми успешными и долгоживущими формами жизни, когда-либо обитавшими на нашей планете: их безоговорочное господство продлится 3 миллиарда лет<sup>10</sup>.

Жизнь зародилась в мире теплом<sup>11</sup>, но безмолвном (не считая шелеста ветров и волн). Дуновение ветра вовсе не было свежим: кислорода в воздухе практически не было. В отсутствие защитного озонового слоя солнечный ультрафиолет стерилизовал все, что не было упрятано хотя бы на несколько сантиметров в воду. Цианобактерии, образующие колонии, вынужденно обзавелись защитными пигментами, поглощающими эти лучи. Поглотив энергию излучения, ее можно было на что-то потратить – что цианобактерии и сделали, приспособив ее для химического синтеза. Среди «подогретых» химических реакций были и такие, в результате которых атомы углерода, водорода и кислорода соединялись в молекулы сахаров и крахмала. Этот процесс называется «фотосинтез». Вред был обращен во благо.

Пигмент, улавливающий световую энергию в современных растениях, называется «хлорофилл». Энергия поглощенного света используется для разделения молекулы воды на составляющие ее атомы кислорода и водорода, которые вступают в последовательность химических реакций. Но во времена юности Земли исходными материалами с таким же успехом могли быть и минералы, содержащие железо или серу, хотя наилучшим выбором все равно оставалось самое доступное вещество – вода. Впрочем, этот вариант очень коварен. При использовании воды в качестве «рабочего тела» фотосинтеза образуется побочный продукт. Это газ без цвета и без запаха, сжигающий все на своем пути. Этот газ – одно из опаснейших веществ во Вселенной. Как он называется? Верно –  $O_2$ , свободный кислород.

Для возникших в океане и живших под пологом бескислородной атмосферы первых живых существ появление кислорода стало катастрофой. Конечно, откровенно говоря, когда цианобактерии только открыли для себя кислородный фотосинтез – это произошло около 3 миллиардов лет назад, возможно, чуть раньше, – кислорода они выделяли немного. Совсем немного. В следовых количествах, если быть совсем точным. Но кислород – сила настолько серьезная, что даже его следы оказались смертельными для живших тогда существ. Даже эти едва ощутимые дуновения кислородного ветра привели к первому (из многих) массовому вымиранию в истории нашей планеты. Поколение за поколением древнейшие обитатели Земли сгорали в пламени фотосинтеза.

Свободного кислорода стало больше во времена кислородной катастрофы, или «кислородной революции» – беспокойного периода, начавшегося примерно 2,4 миллиарда лет назад

---

<sup>10</sup> Как минимум до тех пор, пока не появятся животные, способные их скрести. Сейчас строматолиты растут только в тех редких местах, которые недоступны для животных, например в заливе Шарк в Западной Австралии, где вода настолько соленая, что расти там может только тина.

<sup>11</sup> Что странно, потому что тогда Солнце было не такое яркое, как сейчас. Это обстоятельство даже получило собственное название – «парадокс слабого молодого Солнца». Парадокс – потому что, казалось бы, Земля должна была покрыться льдами. Но ранняя атмосфера была богата «сильными» парниковыми газами (например, метаном), благодаря чему температура вовсе не была низкой.

и завершившегося около 2,1 миллиарда лет назад. Концентрация кислорода в атмосфере сначала быстро росла, достигнув величин, превышающих сегодняшний уровень 21 %, а затем, по непонятным пока причинам, упала ниже 2 %. И хотя по нынешним меркам этого все равно совершенно недостаточно для дыхания, но на древнюю экосистему это оказало грандиозное влияние<sup>12</sup>.

Всплеск тектонической активности унес под морское дно обширные накопления богатых углеродом органических осадков – останков многих поколений живых существ, надежно спрятав их от доступа кислорода. Благодаря этому в атмосфере осталось много кислорода, который мог вступить в реакцию со всем, с чем соприкасается. От кислорода не укрылись даже скалы – железо в них превратилось в ржавчину оксидов, а углерод – в известняк.

В то же самое время из атмосферы исчезли метан и углекислый газ, поглощенные массой новообразованных горных пород. Метан и углекислый газ – два основных компонента того атмосферного «одеяла», которое сохраняет тепло Земли. Они способствуют так называемому «парниковому эффекту», и без них планету накрыло первое – и сильнейшее в ее истории – оледенение. Ледники простерлись от полюса до полюса, покрыв всю Землю на долгие 300 миллионов лет. Но жизнь на Земле пережила обе эти апокалиптические катастрофы – и «кислородную революцию», и Землю-«снежок». Многие создания погибли, но остальных невзгоды лишь подтолкнули к дальнейшему развитию.

Первые 2 миллиарда лет истории Земли самой сложной формой жизни были бактерии. Бактериальные клетки чрезвычайно просты по своему устройству – одиночные ли это бактерии или соединенные в маты на океанском дне либо в длинные нитчатые колонии цианобактерий. Это совсем крошечные клетки – на кончике иглы их может уместиться столько же, сколько хиппи съехалось когда-то в Вудсток (и еще останется место)<sup>13</sup>.

Под микроскопом бактериальная клетка выглядит простой и бесхитростной. Но эта простота обманчива. Бактерии отлично адаптируются к самым разным местам и особенностям обитания. Они могут жить почти везде. В человеческом теле (и на нем) бактериальных клеток во много раз больше, чем собственных человеческих. И хотя одни бактерии вызывают серьезные болезни, но нам не выжить без других – тех, что населяют наш кишечник и помогают нам переваривать пищу.

С точки зрения бактерий наш внутренний мир, несмотря на все разнообразие его условий – например температуры и кислотности, – тихое место. Есть бактерии, для которых кипящий чайник – словно для нас погожий весенний день. Есть бактерии, которые благоденствуют в сырой нефти, или в канцерогенных растворителях, или даже в ядерных отходах. Некоторые бактерии способны выжить в космическом вакууме, некоторые – при жесточайших давлении и температуре, некоторые – в кристаллах соли, причем способны находиться при таких условиях миллионы лет<sup>14</sup>.

Бактерии хоть и крохотны, но весьма общительны. Разные виды бактерий собираются в группы для обмена метаболитами. Отходы одного вида могут оказаться лакомством для другого. Строматолиты – которые, как мы уже видели, были первыми явными признаками жизни

---

<sup>12</sup> Горячие споры о причинах кислородной катастрофы все еще продолжаются. По имеющимся данным, в результате долгого периода повышенной активности значительное количество газов было выброшено в атмосферу из недр Земли. См.: Lyons T. W. et al. The rise of oxygen in the Earth's early ocean and atmosphere // *Nature*. 2014. 506: 307–315; Marty B. et al. Geochemical evidence for high volatile fluxes from the mantle at the end of the Archaean // *Nature*. 2019. 575: 485–488; Eguchi J. et al. Great Oxidation and Lomagundi events linked by deep cycling and enhanced degassing of carbon // *Nature Geoscience*. 2019. doi:10.1038/s41561-019-0492-6.

<sup>13</sup> Вот как это описывала Джони Митчелл: «Когда мы добрались до Вудстока, нас было уже полмиллиона», а празднично одетый журналист добавил: «...и триста тысяч искали туалет».

<sup>14</sup> См.: Vreeland R. H. et al. Isolation of a 250-million-year-old halotolerant bacterium from a primary salt crystal // *Nature*. 2000. 407: 897–900; Parkes J. A case of bacterial immortality? // *Nature*. 2000. 407: 844, 845.

на Земле – были колониями разных видов бактерий. Бактерии могут даже обмениваться друг с другом некоторыми генами. Именно благодаря такому обмену в наше время бактерии развивают устойчивость к антибиотикам: если какая-то бактерия не защищена от конкретного антибиотика, она может безвозмездно позаимствовать нужный ген у другого вида, обитающего в этом же месте.

Такая тяга бактерий к образованию сообществ из разных видов привела к следующему большому эволюционному рывку: бактерии вывели сожительство на следующий уровень – появились клетки с ядрами.

Более 2 миллиардов лет назад небольшие колонии бактерий постепенно начали перенимать привычку жить под одной мембраной<sup>15</sup>. Все началось с маленькой бактериальной клетки под названием «архебактерия», которая предпочла получить некоторые ключевые питательные вещества от своих соседей, став полностью зависимой от них<sup>16</sup>. Затем эта клетка протянула к соседям выросты своего тела, чтобы упростить обмен веществами (и генами). Постепенно участники этого, поначалу добровольного, объединения становились все больше и больше зависимы друг от друга. Каждый из них сосредоточивался на чем-то одном.

Цианобактерии, специализируясь на сборе солнечного света, превратились в хлоропласты – яркие зеленые точки в растительных клетках. Другие разновидности бактерий посвятили себя добыванию энергии из пищи, став крошечными розовыми электростанциями под названием «митохондрии», которые есть практически во всех клетках с ядром – и растительных, и животных<sup>17</sup>. И все они, независимо от своей специализации, передали свои генетические ресурсы центральной архебактерии, ставшей клеточным ядром – библиотекой клетки, хранилищем генетической информации, памятью и наследием<sup>18</sup>.

Подобное разделение труда сделало жизнь такой колонии гораздо более эффективной и упорядоченной. То, что начиналось как рыхлая колония, стало единым целым, новым типом жизненной формы – ядерной, эукариотической, клеткой. Состоящие из таких клеток организмы – как одноклеточные, так и многоклеточные – называются «эукариоты»<sup>19</sup>.

---

<sup>15</sup> Возможно, это стремление было подстегнуто встряской в результате кислородной катастрофы.

<sup>16</sup> Вообще-то бактерии и архебактерии – очень разные организмы, но и те и другие являются микроскопическими существами одного уровня организации, поэтому я здесь пользуюсь собирательным обозначением «бактерии» для них обоих.

<sup>17</sup> См.: *Martijn J. et al.* Deep mitochondrial origin outside sampled alphaproteobacteria // *Nature*. 2018. 557: 101–105.

<sup>18</sup> Образование ядерных клеток благодаря слиянию нескольких разновидностей бактерий и архей подтверждено методами молекулярной археологии, способными выявлять слияния клеток и организмов (*Rivera M. C. and Lake J. A.* The Ring of Life provides evidence for a genome fusion origin of eukaryotes // *Nature*. 2004. 431: 152–155; *Martin W. and Embley T. M.* Early evolution comes full circle // *Nature*. 2004. 431: 134–137). Систематическая принадлежность превратившейся в ядро архебактерии остается неясной, так как она должна была обладать теми свойствами ядерных клеток, которых нет у архебактерий, например скелетом из белковых фибрилл. Такие архебактерии были обнаружены в осадочных отложениях на морском дне (*Spang A. et al.* Complex archaea that bridge the gap between prokaryotes and eukaryotes // *Nature*. 2015. 521: 173–179; *Embley T. M. and Williams T. A.* Steps on the road to eukaryotes // *Nature*. 2015. 521: 169, 170; *Zaremba-Niedzwiedska K. et al.* Asgard archaea illuminate the origin of eukaryote cellular complexity // *Nature*. 2017. 541: 353–358; *McInerney J. O. and O'Connell M. J.* Mind the gaps in cellular evolution // *Nature*. 2017. 541: 297–299; *Eme L. et al.* Archaea and the origin of eukaryotes // *Nature Reviews Microbiology*. 2017. 15: 711–723). После героических усилий их удалось культивировать в лаборатории (*Imachi H. et al.* Isolation of an archaeon at the prokaryote-eukaryote interface // *Nature*. 2020. 577: 519–525; *Schleper C. and Sousa F. L.* Meet the relatives of our cellular ancestor // *Nature*. 2020. 577: 478, 479). Удивительно, что эти создания очень малы, но от них отходят длинные «щупальца», охватывающие соседние бактерии, выжить без которых эта архебактерия не способна – возможно, такое поведение было первым шагом на пути к объединенной клетке (*Dey G. et al.* On the archaeal origins of eukaryotes and the challenges of inferring phenotype from genotype // *Trends in Cell Biology*. 2016. 26: 476–485).

<sup>19</sup> Большинство эукариот и сегодня живут в виде единственной клетки. Одноклеточными являются обитающие в каждом пруду амёбы и инфузории, равно как и возбудители многих болезней – малярии, сонной болезни, лейшманиоза и многих других. Эукариоты с телами из множества клеток включают животных, растения и грибы, а также многие водоросли. Но даже многоклеточные эукариоты проводят часть своей жизни в одноклеточной стадии. Вы, дорогой читатель, начинали с одной-единственной клетки.

Возникновение ядра позволило сформироваться более организованной системе размножения. Клетки бактерий обычно делятся надвое, производя две идентичные копии исходной клетки. Привнесение нового генетического материала происходит случайно, фрагментарно и бессистемно.

У эукариот же, напротив, в каждом родительском организме формируются особые репродуктивные клетки, благодаря которым происходит прекрасно срежиссированный обмен наследственным материалом. Смешиваясь, гены обоих родителей становятся планом развития нового самостоятельного индивида, отличающегося от обоих родителей. Этот изящный обмен генетическим материалом мы называем «половой процесс»<sup>20</sup>. Увеличение генетической изменчивости вследствие появления полового размножения привело к стремительному росту разнообразия. Результатом этого стало появление множества разных разновидностей эукариот, а конгломераты эукариотических клеток со временем превратились в полноценные многоклеточные организмы<sup>21</sup>.

Эукариоты тихо и скромно возникли в период между 1,85 миллиарда и 850 миллионами лет назад<sup>22</sup>. Примерно 1,2 миллиарда лет назад они разошлись на одноклеточных простейших, или протист, и ранних предков нынешних водорослей и грибов<sup>23</sup>. Впервые в истории Земли жизнь оторвалась от морей – эукариоты колонизировали пресноводные пруды и реки, удаленные от морских берегов<sup>24</sup>. Водорослевые и грибные налеты и корки лишайников<sup>25</sup> расцвели еще недавно безжизненные побережья.

Некоторые эукариоты отважились даже сыграть в многоклеточность – в результате появились морская водоросль *Bangiomorpha*<sup>26</sup> возрастом 1,2 миллиарда лет и гриб урасфера (*Ourasphaira*)<sup>27</sup> возрастом 900 миллионов лет. Но были и более диковинные существа. Первые известные признаки многоклеточной жизни датируются периодом 2,1 миллиарда лет назад.

<sup>20</sup> Есть два типа полового процесса. При первом оба участника образуют половые клетки примерно одинаковых размеров. Такой вариант больше распространен у примитивных существ – например бактерий. При гораздо более распространенном втором варианте одна сторона производит сравнительно небольшое количество крупных половых клеток, называемых яйцами, а другая – множество очень мелких – спермиев. Вторые заинтересованы в том, чтобы оплодотворить как можно больше яиц, но это противоречит интересам первых, которых беспокоит качество спермиев, оплодотворяющих их яйца. Так начинается война между самцами и самками.

<sup>21</sup> Многоклеточность неоднократно независимо развивалась у разных организмов (см.: *Sebé-Pedros A. et al. The origin of Metazoa: a unicellular perspective // Nature Reviews Genetics. 2017. 18: 498–512*). Помимо животных, существуют еще растения и их близкие родственники зеленые водоросли, разные варианты красных и бурых водорослей, разнообразные грибы. Впрочем, большинство эукариот – одноклеточные, как и все половые клетки всех эукариот, в том числе человеческие яйцеклетки и сперматозоиды. В каком-то смысле многоклеточность – всего лишь эффективный механизм обеспечения существования половых клеток.

<sup>22</sup> Геологи – которые не вылезут из кровати, если не предвидится какого-то апокалиптического тектонического события, – пренебрежительно называют этот период истории Земли «Скучным миллиардом».

<sup>23</sup> Протисты представляют собой обширную группу крайне разнообразных одноклеточных эукариот, которых традиционно помещают в мусорную группу *Protozoa*. Наравне с привычными обитателями прудов вроде амёб и инфузорий сюда же попадают такие важные в планетарном масштабе существа, как вызывающие «красные приливы» динофлагелляты, строящие минеральные домики необыкновенной красоты форамениферы и кокколитофориды, возбудители малярии и сонной болезни плазмодии и трипаномы и просто прекрасные динофлагелляты *Nematodinium* – обладатели восхитительного глаза с подобным роговице слою, хрусталиком и сетчаткой (см.: *Gavell G. S. Eye-like ocelloids are built from different endosymbiotically acquired components // Nature. 2015. 523: 204–207*). Протисты подобны джек-рассел-терьеру: не вышли размером, но индивидуальности хоть отбавляй.

<sup>24</sup> См.: *Strother P. K. et al. Earth's earliest non-marine eukaryotes // Nature. 2011. 473: 505–509*.

<sup>25</sup> Лишайники – это настолько тесные союзы грибов и водорослей, что их выделяют как самостоятельные виды. Лишайники замечательно описаны в книге Мерлина Шелдрейка «Запутанная жизнь: как грибы меняют мир, наше сознание и наше будущее» (*Sheldrake Merlin. Entangled Life: How Fungi Make Our Worlds, Change Our Minds, and Shape Our Futures. L.: The Bodley Head, 2020 (Шелдрейк М. Запутанная жизнь: как грибы меняют мир, наше сознание и наше будущее / Пер. с англ. О. Н. Ольховской. М.: АСТ, 2021)*).

<sup>26</sup> См.: *Butterfield N. J. Bangiomorpha pubescens n. gen. n. sp.: implications for the evolution of sex, multicellularity, and the Mesoproterozoic/Neoproterozoic radiation of eukaryotes // Paleobiology. 2000. 26: 386–404*.

<sup>27</sup> См.: *Loron C. et al. Early fungi from the Proterozoic era in Arctic Canada // Nature. 2019. 570: 232–235*.

Некоторые из этих созданий достигают в поперечнике 12 сантиметров – их никак не назовешь микроскопическими. Но форма их настолько не похожа ни на что другое, привычное нашему глазу, что совершенно непонятно, к чему они относятся – грибам, водорослям или чему-то еще<sup>28</sup>. Возможно, это какие-то разновидности колониальных бактерий. Не исключено, правда, что когда-то жили группы живых существ – бактерий, эукариот или вовсе каких-то совсем других, – которые вымерли, не оставив потомков, оставшись непостижимыми для нас.

Первым отголоском надвигающейся бури стал распад суперконтинента Родинии, в который была объединена вся суша, существовавшая в то время<sup>29</sup>. Последствием этого геологического события стала череда ледниковых периодов, подобных которым не случалось со времен кислородной катастрофы. На 80 миллионов лет льды вновь, как и тогда, укрыли всю планету. И вновь жизнь ответила, подняв ставки.

Когда жизни был брошен вызов, его приняли миролюбивые водоросли, грибы и лишайники. Когда солнце вернулось, его лучам предстали создания совсем другие – жесткие, быстрые, настороженные. В вулканическом пламени жизнь на Земле была выкована. В ледниковой стуже она закалилась.

## **Временная шкала № 2. Жизнь на Земле**

---

<sup>28</sup> См.: *Albani El et al.* Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments 2.1 Gyr ago // *Nature*. 2010. 466: 100–104.

<sup>29</sup> Литосфера – совокупность всех литосферных плит – дышит. Каждые несколько сотен миллионов лет все континенты собираются в один суперконтинент – лишь для того, чтобы вновь разойтись в разные стороны, когда суперконтинент распадется под ударами магматических плюмов из глубин планеты. Последним суперконтинентом была Пангея, достигшая максимального размера около 250 миллионов лет назад. Перед ней была Родиния, еще раньше – Колумбия. Есть свидетельства существования и более древних суперконтинентов. Все, что вы хотели бы знать о тектонике плит, можно найти в книге моего друга Тэда Нилда «Суперконтинент» (Supercontinent).





## 2

### Как собрать животное

Распад Родинии начался примерно 825 миллионов лет назад и длился почти 100 миллионов лет, оставив после себя континенты, расположенные кольцом с центром примерно на экваторе. Он сопровождался бурным вулканизмом, вынесшим на поверхность огромное количество магматических пород. большей частью это был базальт, который легко поддается выветриванию – а большая часть суши была в тропиках, где жара и влажность значительно ускоряют этот процесс.

Дожди и ветры смыли в океан не только базальтовые лавы. Они упрятали в морские глубины и огромное количество углеродсодержащих осадочных материалов, надежно укрыв их от доступа кислорода. Окисляясь до углекислого газа, углерод усиливает парниковый эффект, согревая Землю. Но когда углерод удаляется из атмосферы, парниковый эффект ослабевает – и Земля остывает. Этот вальс углерода, кислорода и углекислоты задаст ритм последующей истории Земли и жизни на ней.

Выветривание осколков Родинии привело к тому, что около 715 миллионов лет назад Земля вступила в эпоху глобальных оледенений, которая продлилась 80 миллионов лет.

Как и первый эпизод Земли-«снежка», случившийся после кислородной катастрофы – более чем за миллиард лет до описываемых событий, – вторая серия глобальных оледенений ускорила эволюцию. На эту сцену вышла новая, активная группа эукариот – животные<sup>30</sup>.

Океан, куда был смыт углерод, за исключением тонкого приповерхностного слоя, практически не содержал кислорода. Его тогда и в воздухе-то было в десять раз меньше, чем сейчас, а уж в поверхностном слое океана и того меньше. Для поддержания жизни животных этого было явно недостаточно, и выжить в таких условиях могли только существа размером не больше типографской точки в конце этого предложения.

Были, однако, животные, которым удалось выжить при мизерных концентрациях кислорода. Это были губки. Впервые они появились около 800 миллионов лет назад<sup>31</sup>, когда распад Родинии только начался.

Губки были – и остались – очень просто устроенными животными. Их личинки маленькие и подвижные, но взрослые особи проводят всю свою жизнь на одном месте. Взрослая губка представляет собой бесформенную массу клеток, пронизанную множеством отверстий, каналов и внутренних емкостей. Выстилающие эти каналы и емкости клетки создают ток воды слаженными биениями нитеподобных выростов – жгутиков. Другие клетки вылавливают из этого тока съедобные частицы – детрит. Отдельных органов или тканей у губок нет – можно продавить живую губку через сито, и полученная масса, попав в воду, вновь соберется воедино, восстановив полностью функциональную особь – только форма не сохранится. Это простая форма жизни, которой требуется немного энергии – и немного кислорода.

---

<sup>30</sup> Многое из написанного ниже я почерпнул из работы *Lenton T. M. et al. Co-evolution of eukaryotes and ocean oxygenation in the Neoproterozoic era // Nature Geoscience. 2014. 7: 257–265.*

<sup>31</sup> Время появления губок довольно спорно. Красноречиво свидетельствующие о присутствии этих существ минерализованные спикулы их скелетов редко встречаются в слоях более ранних, чем кембрийские. Молекулярные же «ископаемые», которые принято считать маркерами существования губок, вполне могут относиться к простейшим. См.: *Zumberge J. A. et al. Demosponge steroid biomarker 26-methylstigmastane provides evidence for Neoproterozoic animals // Nature Ecology & Evolution. 2018. 2: 1709–1714; Botting J. P., Nettersheim B. J. Searching for sponge origins // Nature Ecology & Evolution. 2018. 2: 1685–1686; Nettersheim B. J. et al. Putative sponge biomarkers in unicellular Rhizaria question an early rise of animals // Nature Ecology & Evolution. 2019. 3: 577–581.*

Но простота – еще не повод для пренебрежительного отношения. Губки своим появлением изменили мир.

Поселившись среди укрывающих морское дно слизистых «ковров», губки принялись фильтровать морскую воду. Одна губка за день профильтровывает совсем небольшой объем, но за миллионы лет миллиарды губок проделали впечатляющую работу – медленно и непрерывно, вне доступа кислорода, на дне накапливался углерод. К тому же губки очистили воду вокруг себя от детрита, который иначе был бы переварен дышащими бактериями. В результате количество растворенного в морях кислорода медленно, но неуклонно повышалось, как и в воздухе над водой<sup>32</sup>.

Над губками, в приповерхностном, освещенном солнцем слое воды, медузы и маленькие червеподобные создания питались еще более крошечными эукариотами и бактериями<sup>33</sup>. Чем ближе к поверхности – тем больше кислорода, но богатые углеродом тела планктонных животных быстро тонули, а не оставались дрейфовать – и еще большее количество углерода оказывалось вне досягаемости для молекулярного кислорода. Поэтому в океане и в атмосфере его накапливалось еще больше.

Планктонные создания были уже достаточно велики, чтобы их (не всех, конечно) можно было разглядеть невооруженным глазом. Но все же большинство из них были достаточно мелки, чтобы обмениваться с окружающей средой питательными веществами и отходами жизнедеятельности путем простой диффузии через всю толщу тела. Те же обитатели планктона, кто стал крупнее, обзавелись специальным приспособлением для поступления пищи – ртом. Он же, впрочем, выполнял и обратную задачу, являясь одновременно анусом.

Когда ничем больше не примечательные черви обзавелись отдельным анусом, это привело к биосферной революции. Теперь отходы жизнедеятельности не оставались растворенными в окружающей морской воде, а формировали твердые гранулы, которые быстро опускались на дно. Так началась настоящая «гонка ко дну»: дышащие кислородом организмы, разлагающие органические останки, стали собираться на дне, а не распределяться по всей толще воды, как раньше. Мутные застойные воды становились чище и еще богаче кислородом, закладывая основу для появления более крупных живых существ<sup>34</sup>.

Появление ануса имело и еще одно очень важное последствие. Животное, у которого на одном конце есть рот, а на другом анус, волей-неволей выбирает совершенно определенное направление движения – «головой» вперед, «хвостом» назад. Поначалу они просто ползали по дну, собирая обрывки слизистого бактериального «ковра», покрывавшего его уже два миллиарда лет, и кусочки осевшего на него детрита.

Затем они начали закапываться под бактериальные маты. А затем начали их есть. Эпоха безраздельного владычества строматолитов закончилась.

Доев же строматолиты, животные принялись друг за друга.

---

<sup>32</sup> См.: *Tatzel M. et al. Late Neoproterozoic seawater oxygenation by siliceous sponges // Nature Communications. 2017. 8: 621.* Нельзя не вспомнить последнюю книгу Дарвина «Образование почвенного слоя дождевыми червями и наблюдения над их образом жизни», вышедшую в 1881 г., незадолго до смерти великого ученого. Казалось бы, менее интригующее название придумать уже невозможно, но однажды я нашел на полке среди других книг, присланных в Nature на рецензию, толстый том, озаглавленный «Активный ил» (*Activated Sludge*). Впрочем, я отвлекся. «Черви», как этот труд называют в кругу знатоков и любителей Дарвина, демонстрирует, как переработка почвы дождевыми червями может менять ландшафты, хотя времени на это уходит много. В этой небольшой книжке собраны в емкой и общедоступной форме обширные темы времени и изменений, определившие всю жизнь Дарвина, так что «Черви» – вершина творения, достойная его гения. Дарвин есть Дарвин: он действительно измерил эффект работы червей, положив на своем заднем дворе на траву камень и наблюдая, сколько времени понадобится камню, чтобы под воздействием рыхлящих почву червей скрыться в земле.

<sup>33</sup> Многие животные, которые во взрослом состоянии обитают на морском дне, в личиночной стадии являются частью планктона.

<sup>34</sup> См.: *Logan G. A. et al. Terminal Proterozoic reorganization of biogeochemical cycles // Nature. 1995. 376: 53–56.*

Случались и другие глобальные оледенения, представлявшие собой проблему. Но проблемы – двигатель эволюции. Процветающие морские водоросли обеспечивали ранним животным гораздо лучшее питание, чем бактерии<sup>35</sup>.

Возможно, именно суровость криогенового оледенения толкнула животных на путь усложнения. Что нас не убивает, то делает нас сильнее – и животным просто не оставалось ничего иного, как двинуться по этому пути, чтобы на заре своего существования выжить в таких условиях. И когда льды отступили – а льды всегда отступают, в истории Земли не случилось иного, – оставшиеся животные были изящнее и коварнее своих предшественников. И теперь они были готовы к любым испытаниям, какие бы ни уготовила им родная планета.

Животные внезапно появились в палеонтологической летописи около 635 миллионов лет назад, во время, называемое эдиакарским периодом. Это был расцвет прекрасных, напоминающих листья организмов – вендобионтов, – которые упорно сопротивляются попыткам понять, что же они такое<sup>36</sup>. И если родство некоторых из них с современными животными не вызывает сомнений, то другие представители могли быть лишайниками, грибами или колониями каких-то микроскопических организмов – или же чем-то столь чуждым нынешним формам жизни, что нам просто не с чем их сравнивать.

Среди них была восхитительная дикинсония (*Dickinsonia*) – широкое, но плоское, как блин, сегментированное существо, которое легко представить грациозно скользящим по донным отложениям, словно сегодняшние плоские черви или голожаберные моллюски<sup>37</sup>. Другой известный вендобионт – кимберелла (*Kimberella*) – является, скорее всего, очень древним родственником моллюсков<sup>38</sup>. Рангеоморфов вообще не удастся соотнести ни с какой известной нам группой животных. Напоминающие батон-плетенку, они, скорее всего, вели прикрепленный образ жизни, отпочковывая дочерние организмы, словно клубника – усы<sup>39</sup>. Мир этих странных, прекрасных и ни на что не похожих созданий был тих и спокоен. Обитали они на мелководьях, среди водорослевых зарослей<sup>40</sup>.

Ранние вендобионты были мягкотелыми листоподобными созданиями. Существа, более похожие на привычных нам животных, способные к полноценному активному движению, появились несколько позже – около 560 миллионов лет назад. Одновременно с ними повсеместно появляются ихнофоссилии, или окаменевшие следы, – останки не самих животных, а признаков их деятельности: следов и нор. Ихнофоссилии столь же важны, как следы злодея, только что скрывшегося с места преступления. По следам можно определить телосложение преступника и даже какие-то элементы его намерений. А вот об одежде, в которой он был во время преступления, по следам сказать ничего нельзя, как и об оружии, которое было у него в руках, – для этого нужно застать его непосредственно в момент преступления. С ихнофоссилиями это удастся крайне, крайне редко. Так случилось с окаменелостями *Yilingia spiciformis* из

---

<sup>35</sup> См.: Brocks J. J. et al. The rise of algae in Cryogenic oceans and the emergence of animals // Nature. 2017. 548: 578–581.

<sup>36</sup> Так называемая эдиакарская биота получила свое название по холмистой местности в Южной Австралии, где впервые были обнаружены ископаемые этого возраста. С тех пор эдиакарские окаменелости обнаружены во множестве мест, разбросанных по всему миру, – от льдистых побережий русской Арктики, продуваемого всеми ветрами Ньюфаундленда и пустынь Намибии до мирных пейзажей Центральной Англии.

<sup>37</sup> Сейчас считается, что *Dickinsonia* – какое-то животное, хотя к какой группе она относится – непонятно. См.: Bobrovskiy I. et al. Ancient steroids establish the Ediacaran fossil *Dickinsonia* as one of the earliest animals // Science. 2018. 361: 1246–1249.

<sup>38</sup> См.: Fedonkin M. A. and Waggoner B. M. The Late Precambrian fossil *Kimberella* is a mollusc-like bilaterian organism // Nature. 1997. 388: 868–871.

<sup>39</sup> См.: Mitchell E. G. et al. Reconstructing the reproductive mode of an Ediacaran macro-organism // Nature. 2015. 524: 343–346.

<sup>40</sup> Грегори Реталлак предположил, что некоторые вендобионты были сухопутными – утверждение, мягко говоря, спорное. См.: Retallack G. J. Ediacaran life on land // Nature. 2013. 493: 89–92; Xiao S. and Knauth L. P. Fossils come in to land // Nature. 2013. 493: 28–29.

самого конца эдиакария. Иногда на концах дорожки следов находят оставивших их животных – они похожи на кольчатых червей, которых рыбаки часто используют как наживку<sup>41</sup>.

Значение ихнофоссилий трудно переоценить. Это стоп-кадр, запечатлевший момент, когда животные начали передвигаться. До тех пор животные вели сидячий образ жизни – по крайней мере, какую-то часть своего жизненного цикла. Практически всегда дорожку следов оставляют животные, способные к направленному мышечному движению. Нет никакой необходимости двигаться в каком-то конкретном направлении, если еда везде вокруг. А вот если животное, обладающее ртом, устремляется куда-то – значит, оно чего-то ищет и это «что-то» – еда. Когда-то, в середине эдиакария, животные принялись активно поедать друг друга. И когда это случилось, животные так же активно старались найти способ не быть съеденными.

Животное, роющее нору в иле, должно обладать плотным упругим телом, чтобы проникнуть в толщу осадка. Этого можно достигнуть разными способами. Тело роющего животного может быть укреплено внутренним скелетом, как у таксы, или внешним, как у рака. Внешние скелеты обычно сначала мягкие и гибкие, как у креветки, но могут минерализоваться и твердеть, словно у омара. Другой подход – «собрать» тело из повторяющихся сегментов, наполненных жидкостью и разделенных перегородками. Завернув сегменты в плотный мускулистый покров, можно продвигаться в почве, опираясь на него. Такой вариант выбрал дождевой червь.

Так же поступают и морские родственники дождевого червя, но они помогают себе рыть, ползать и плавать гибкими, похожими на ножки придатками на каждом сегменте. Самые древние окаменевшие следы – например *Yilingia spiciformis* – могли быть оставлены именно такими существами.

Животные, подобные дождевому червю, устроены сложнее, чем медузы или примитивные плоские черви. Главным их отличием является наличие внутренностей.

У медуз и плоских червей внутренностей практически нет. Их кишка – это просто впячивание (инвагинация) тела, соединяющегося с внешним миром единственным отверстием, которое является одновременно и ртом, и анусом. Более сложные же животные, напротив, имеют сквозной кишечник со ртом на одном конце и анусом – на другом. У них могут быть внутренние полости тела, отделяющие кишечник от покровов, в которых формируются внутренние органы.

Животные, чей уровень организации близок к медузе, как правило, лишены таких полостей. Наличие внутренних полостей означает, что рост кишки и внешних покровов теперь не взаимосвязан и позволяет формироваться сложному кишечнику, а размерам тела – увеличиваться. Сложный кишечник и большое тело оказываются очень кстати, когда вам придет в голову заняться поеданием соседей по местообитанию. А еще вам понадобятся зубы. Если же вы хотите защититься от съедения, вам понадобится броня. Тела животных Эдиакарского сада были мягкими, водянистыми и беззащитными. Изгнание из рая оказалось жестоким и беспощадным – и было вызвано очередным потрясением планетарного масштаба.

Произошло это в следующем раунде интенсивного выветривания в самом конце эдиакария. Климат нанес такой удар, что практически вся суша была стесана до скального основания и смыта в океан. Это привело к двум важным последствиям. Во-первых, из-за значительного повышения уровня океана были затоплены обширные прибрежные пространства, благодаря чему морские обитатели получили новый простор для освоения. Во-вторых, в океане внезапно

---

<sup>41</sup> См.: Chen Z. et al. Death march of a segmented and trilobate bilaterian elucidates early animal evolution // Nature. 2019. 573: 412–415.

оказалось в достатке разнообразных химических веществ – в частности кальция, без которого не построить скелет или раковину<sup>42</sup>.

Самые древние известные минерализованные скелеты принадлежат клаудинам (*Cloudina*), жившим около 550 миллионов лет назад. Клаудины были похожи на стопку крошечных вафельных рожков для мороженого<sup>43</sup>. Их остатки встречаются повсеместно, и, несмотря на свою древность, некоторые из них просверлены каким-то неизвестным хищником<sup>44</sup>. Чуть позже, примерно 541 миллион лет назад, в палеонтологической летописи появляются тоже широко распространенные следовые дорожки трептихнус (*Treptichnus*) – окаменевшие норы, оставленные в донном иле неизвестным животным. Их появление отмечает начало кембрия – периода второго великого расцвета животных. Животных, которые закапывались, плавали, сражались и пожирали друг друга. Животных с твердыми скелетами, укрепленными кальцием. Животных, у которых были зубы.

Самые известные кембрийские животные – это, пожалуй, трилобиты. Это были членистоногие<sup>45</sup>, своим видом напоминающие нынешних мокриц. Они процветали в морях, начиная с раннего кембрия и до девона, когда их звезда закатилась. Окончательно же они вымерли в конце пермского периода примерно 252 миллиона лет назад.

Окаменелые останки трилобитов довольно распространены. Почти во всех любительских коллекциях найдется свой трилобит (и не один), но их привычность и многочисленность – не повод их недооценивать. Трилобиты изысканно красивы, а устроены не менее сложно, чем современные животные. Они обзавелись экзоскелетами и линяли по мере роста, точно как современные членистоногие – от крошечных мошек до громадных омаров. Самое примечательное – это глаза трилобитов, составленные из десятков и сотен простых глазок, как у привычных нам мух и стрекоз. Каждый такой глазок у ископаемых сохранился в виде кристалла карбоната кальция. Разумеется, у разных трилобитов были разные глаза (у некоторых огромные, а какие-то были вовсе слепыми). Одни добывали пропитание, копаясь в иле, другие плавали, не слишком приближаясь ко дну.

Но трилобиты – это еще не вся кембрийская жизнь.

Давным-давно, 508 миллионов лет назад, на дне моря – там, где сейчас находится канадская провинция Британская Колумбия, – сошел оползень. И прихватил с собой все, что было на дне, и внутри дна тоже. Многих животных засыпало целиком, практически перекрыв доступ к ним кислорода. Засыпало так быстро, что животные остались целыми и неповрежденными, так что последующие полмиллиарда лет не нарушили ни мельчайшей детали их облика, даже в мягких частях тела. За прошедшие эпохи мягкие осадочные породы спрессовались в сланец и воздвиглись ввысь, став из морских глубин частью величайшей горной системы Северной

---

<sup>42</sup> Твердые части тела животных всегда построены из соединений кальция. Всегда. У моллюсков это карбонат кальция, у позвоночных, например, рыб или людей, – фосфат. См.: *Peters S. E. and Gaines R. R. Formation of the «Great Unconformity» as a trigger for the Cambrian Explosion // Nature. 2012. 484: 363–366.*

<sup>43</sup> Очень сложно определить, к какому типу относились животные, получившие название *Cloudina*, и которые строили скелеты в форме стопок конусов. Редкие отпечатки мягких тканей позволяют предположить, что это были червеобразные существа со сквозным пищеварительным трактом. *Schiffbauer J. D. et al. Discovery of bilaterian-type through-guts in cloudinomorphs from the terminal Ediacaran Period // Nature Communications. 2020. 11: 205.*

<sup>44</sup> См.: *Bengtson S. and Zhao Y. Predatorial borings in Late Precambrian mineralized exoskeletons // Science. 1992. 257: 367–369.*

<sup>45</sup> Членистоногие являются наиболее удачной группой животных. В нее входят насекомые и их водные родственники ракообразные, многоножки, пауки, скорпионы и клещи, наряду с малоизвестными морскими пауками и мечехвостами. К этой же группе относятся и многие вымершие формы, в том числе ракоскорпионы и конечно же трилобиты. Близки к членистоногим странные онихофоры, или бархатные черви. В наши дни это скромные обитатели подстилки тропических лесов, которые тем не менее могут похвастать славной (но древней) историей покорения морей. Родственны членистоногим тихоходки – крошечные создания, обитающие среди мхов и знаменитые своей потрясающей неуязвимостью: они выдерживают замораживание и кипячение, космический вакуум и радиационный ливень активной зоны работающего реактора. Если это читает кто-то из Marvel или DC Comics – вы упустили свой шанс, не добавив в свою вселенную Человека-Тихоходку. Так и быть, отдаю задаром.

Америки. Там их и обнаружили в 1909 году, назвав сланцами Берджесс. Существа, захороненные в этих сланцах, представляют собой редкий стоп-кадр морской жизни кембрия.

Это удивительный зверинец. Ворох шипастых членистых конечностей, острых когтей и перистых усиков – и все это соединено с телами животных, приходящихся дальней родней нынешним ракам, насекомым и паукам. Животные эти странны до необычайности даже в сравнении с пышным разнообразием современных членистоногих. Среди них была, например, опабиния (*Opabinia*) с ее пятью стебельчатыми глазами и диковинными хватательными челюстями, расположенными на конце гибкого хоботка. Или аномалокарис (*Anomalocaris*) – метровый хищник, барражирующий на глубине в поисках добычи, которую можно схватить шипастыми «щупальцами» и затащить в напоминающий дробилку рот<sup>46</sup>. Но самая обескураживающая – конечно, галлюцигения (*Hallucigenia*) – червеобразное создание, пробиравшееся по илистому дну, защищенное от атаки сверху двойным рядом длинных растопыренных шипов.

Пока членистоногие ползали по дну и плавали над дном, в иле копошились разнообразные причудливые черви.

Множество созданий из сланцев Берджесс лишь отдаленно напоминают животных наших дней<sup>47</sup>. Тем не менее понять, к какой же из основных групп животных относится та или иная окаменелость, можно, даже если она оказывается дальним родственником с экзотическим обликом. Помимо членистоногих (в самом широком смысле, включая галлюцигению и другие ископаемые формы, напоминающие современных бархатных червей, онихофор, снующих в листовой подстилке тропических лесов и похожих на дождевых червей с пухлыми ножками), тогда обитало множество закапывающихся в ил животных, родственных разным группам червей.

Как было с членистоногими, так же вышло и с моллюсками, которые столь же мягкие, как членистоногие, – шипастые (по крайней мере, под раковиной). Виваксия (*Wiwaxia*) с телом кольчатого червя обладала твердым языком, неотличимым от радулы моллюсков – сегодня такими радулами слизни грызут листья салата в огороде. А сверху животное покрыто совершенно нехарактерным для моллюсков кольчужным панцирем<sup>48</sup>. Другим берджессским животным с радулой был одонтогриф (*Odontogriphus*) – который, впрочем, в остальном выглядел как надувной матрац, скрещенный с кофемолкой. Виваксия и одонтогриф были близкими родственниками ранних моллюсков<sup>49</sup>.

А был еще и нектокарис (*Nectocaris*) – примитивное животное без раковины, отдаленно напоминающее кальмара. Это древнейший известный головоногий моллюск<sup>50,51</sup>. Сегодня к этой

<sup>46</sup> . *Tamisiocaris*, родственник аномалокариса *Anomalocaris*, был мирным созданием с бахромчатыми кистями на передних отростках для сбора планктона, как китовый ус или жаберные тычинки гигантской акулы. (Vinther J. et al. A suspension-feeding anomalocarid from the Early Cambrian // Nature. 2014. 507: 496–499.) Аномалокариниды, в отличие от многих других кембрийских форм, дожили до ордовика, когда виды-фильтраторы достигли гигантских двух метров. (Van Roy P. et al. Anomalocaridid trunk limb homology revealed by a giant filter-feeder with paired flaps // Nature. 2015. 522: 77–80.)

<sup>47</sup> Пожалуй, сейчас это утверждение дальше от истины, чем выглядело в 1980-х, когда Стивен Джей Гулд написал «Удивительную жизнь» (Wonderful Life), свою оду сланцам Берджесс, в которой он представил широкой публике свой взгляд на раннюю океанскую жизнь. Гулд предполагал, что у многих берджесских обитателей нет потомков среди современных животных.

<sup>48</sup> См.: Zhang Z. et al. New reconstruction of the *Wiwaxia* scleritome, with data from Chengjiang juveniles // Scientific Reports. 2015. 5: 14810.

<sup>49</sup> См.: Caron J. B. et al. A soft-bodied mollusc with radula from the Middle Cambrian Burgess Shales // Nature. 2006. 442: 159–163; Bengtson S. A ghost with a bite // Nature. 2006. 442: 146, 147.

<sup>50</sup> Гипотеза о принадлежности нектокариса к головоногим моллюскам оспаривается многими учеными, которые считают, что он может представлять независимую группу Lophotrochozoa. См. историю вопроса, например, в работе Mutvei H. Restudy of some plectonoceric nautiloids (Cephalopoda) from the late Cambrian of China; discussion on nautiloid evolution and origin of the siphuncle // GFF. 2020. 142:2: 115–124, DOI: 10.1080/11035897.2020.1739742; Hildenbrand A. et al. A potential cephalopod from the early Cambrian of eastern Newfoundland, Canada // Communications Biology. 2021. 4 (1): 1–11. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01885-w> – Примеч. перев., ред.

<sup>51</sup> См.: Smith M. R. and Caron J.-B. Primitive soft-bodied cephalopods from the Cambrian // Nature. 2010. 465: 469–472; Bengtson S. A little Kraken wakes // Nature. 2010. 465: 427, 428.

группе принадлежат как самое умное и странное из беспозвоночных – осьминог, так и самое большое – колоссальный кальмар. Ископаемая история головоногих так же величественна, как ныне живущие представители этого класса, включая появление – вскоре после нектокариса – наутилоидов с раковинами, похожими на громадные, больше метра, трубы и валторны, а во времена динозавров – закрученных аммонитов, некоторые из которых достигали размера колеса самосвала, что не мешало им изящно парить в толще воды.

После открытия сланцев Берджесс были найдены и другие похожие месторождения примерно того же возраста, среди которых – Маотяньшаньские сланцы на юге Китая. Эти находки встречаются по всему земному шару, от Южной Австралии до Северной Гренландии. Все они примечательны прекрасной сохранностью останков вплоть до малейших деталей. Например, китайская креветкоподобная фусяньхойя (*Fuxianhuia*) сохранилась настолько, что можно отслеживать нейронные связи в ее мозге<sup>52</sup>.

Ископаемые в такой сохранности вообще-то встречаются очень редко. Так произошло благодаря удачному стечению геологических и биохимических обстоятельств. Обычно окаменелости представляют собой только твердые части тел животных, причем замещенные минералами: раковины, кости и зубы, а не нервы, жабры или кишечник. Окаменелости приблизительно того же возраста, что и найденные в сланцах Берджесс, известны давно, но они тоже запечатлели твердые части – следствие стремительной «минерализации» морей в конце эдиакария, позволившей животным отрастить бронезащиту.

В кембрии, на протяжении всего лишь 56 миллионов лет, произошел расцвет форм жизни, которого не случалось ни раньше (за исключением собственно возникновения жизни), ни – и это следует отметить особо – потом. Конечно, 56 миллионов лет – немалый срок, но следующие 485 миллионов лет происходило лишь совершенствование основ, заложенных в кембрии. Со времен гибели динозавров прошло больше времени, чем длился кембрийский период. Неудивительно, что такой стремительный взрыв разнообразия получил название «кембрийский взрыв».

Впрочем, это едва ли был стремительный взрыв – скорее долгий глухой рокот. Он зазвучал с распадом Родинии и, сопровождая восхождение и закат эдиакарской фауны, утих только 480 миллионов лет назад<sup>53</sup>.

К концу кембрийского периода в палеонтологической летописи уже появились все основные группы животных, существующие и поныне<sup>54</sup>. Это были не только членистоногие и различные черви, но и иглокожие и позвоночные. Одним из первых позвоночных была метасприггина (*Metaspriggina*) из сланцев Берджесс. Вместо жесткой внешней кальцитовый брони у нее был гибкий внутренний остов, к которому крепились мощные мышцы. Так гораздо лучше для плавания – причем быстрого, чтобы ускользнуть в кошмарной гонке с гигантскими членистоногими, наподобие аномалокариса.

---

<sup>52</sup> В качестве примера можно прочитать *Ma X. et al. Complex brain and optic lobes in an early Cambrian arthropod // Nature. 2012. 490: 258–261*. Конечно, это утверждение спорно – некоторые исследователи полагают, что в реконструкции нервной системы *Fuxianhuia* больше мнимого, чем реально существовавшего, а наблюдаемая структура – остатки бактериального ореола вокруг разлагающихся внутренних органов. См.: *Liu J. et al. Microbial decay analysis challenges interpretation of putative organ systems in Cambrian fuxianhuiids // Proceedings of the Royal Society of London B. 285: 20180051. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.005>*

<sup>53</sup> Более детальный обзор перехода между вендом и кембрием см. в работе *Wood R. et al. Integrated records of environmental change and evolution challenge the Cambrian Explosion // Nature Ecology & Evolution. 2019. 3: 528–538*.

<sup>54</sup> Тем не менее многие разновидности ныне существующих животных либо вообще не отражены в палеонтологической летописи, либо крайне обрывочны. Таких много среди мягкотелых паразитов. Ископаемые останки круглых червей практически (но не полностью!) неизвестны. Древние ленточные черви не оставили после себя никаких следов.



Метасприггина оказалось одной из самых первых рыб, увековеченных в окаменелостях. И ее история принадлежит уже следующей главе.

### Временная шкала № 3. Сложная жизнь



### 3

## Пришествие позвоночника

Когда в теплых мелких кембрийских морях стал слышен стук клешней шипастых клешней членистоногих, события разворачивались в песчаных россыпях дна. Миниатюрное создание саккорит (*Saccorhytus*), размером с булавочную головку, мирно жило, фильтруя воду, струящуюся между песчинок<sup>55</sup>. Фильтраторы давно не были экзотикой – губки занимались этим уже 300 миллионов лет, да и другие животные – например моллюски – регулярно вступали на этот путь. Просеивание ила в поисках съедобных крошек – дешевый и эффективный способ добывать себе пропитание, особенно для мелких животных со скромными запросами, а саккорит был именно таким.

На одном конце напоминающего по форме картофеля (хотя и крохотную) тела у саккорита был большой круглый рот, жадно всасывающий поток воды, создаваемый рядами колыхающихся ресничек. По каждой стороне тела шел ряд отверстий, напоминающий иллюминаторы, через которые выходила отфильтрованная вода. Внутри тела располагалась липкая слизистая сеть, к которой прилипали частицы детрита – органических осадков. Большая часть тела животного была занята этим фильтровальным аппаратом, включающим рот и множество отверстий, – глоткой. Облепленная детритом слизь сворачивалась в жгут и отправлялась в кишечник, который, наряду с остальными внутренними органами, занимал относительно небольшой объем в задней части тела. Анус был внутренним, и экскременты выделялись через те же отверстия-«иллюминаторы», как и сперма или яйца при размножении.

Саккорит был совершенно беспомощен перед лицом превратностей судьбы – практически так же, как песчинки, среди которых он обитал. Фильтраторам – губкам, двустворчатым моллюскам и многим другим – совершенно все равно, что именно фильтровать; очевидно, в их глотках и ловчих сетях нашли свой конец бесчисленные множества крошечных животных, не заинтересовавших крупных хищников. Некоторые потомки саккорита смогли найти выход, став крупнее, или быстрее, или одевшись в броню – в любых комбинациях.

Большой размер означает, что животное не будет проглочено целиком, – хотя не гарантирует, что тебя не разорвут на части. Чтобы справиться и с этой проблемой, некоторые животные обзавелись броней. Многие добились этого, пропитав свои покровы карбонатом кальция, извлеченным из сильно минерализованной морской воды. Это одно из самых распространенных в природе соединений – из кальцита сложены мел, другие виды известняка и мрамор. Кембрийские моря были богаты карбонатом кальция, который обитатели этих морей превращали в перламутр раковин моллюсков и броню панцирей ракообразных, микроскопические спикулы губок и громадные остовы коралловых рифов.

Некоторые защищенные броней наследники саккорита создали свою уникальную кольчугу, каждое звено которой являлось отдельным кристаллом кальцита. Сделав это, они стали первыми иглокожими – предками морских звезд и морских ежей. План строения всех современных иглокожих основан на числе 5, и этим они отличаются от всех остальных животных. Однако в кембрии они были более разнообразными: некоторые все еще оставались двусто-

---

<sup>55</sup> См.: Han J. et al. Meiofaunal deuterostomes from the basal Cambrian of Shaanxi (China) // Nature. 2017. 542: 228–231. *Saccorhytus*, безусловно, существовал, но описанное здесь его внутреннее строение полностью умозрительно. Древнейшая история позвоночных остается предметом споров. Один из самых спорных вопросов – была ли у ветуликолий (мы с ними еще встретимся чуть дальше) хорда. Полную историю этого вопроса, с подробными предостережениями, можно прочитать в моей книге «Через мост: объяснение происхождения позвоночных» (Across The Bridge: Understanding the Origin of the Vertebrates. Chicago: University of Chicago Press, 2018).

ронне-симметричными, какие-то стали трехлучевыми, а другие и вовсе утратили какую бы то ни было симметрию. Но все начиналось с фильтровального аппарата – рта и отверстий глотки – саккорита, пусть со временем его и заменили другие способы питания. Среди современных иглокожих так не питается никто.

Иглокожие выбрали стратегию защиты от хищников с помощью брони. Но от хищника можно и сбежать – уплыть от атакующего так быстро, как только можешь. На этот вариант пал выбор других потомков саккорита, отдельные представители которых отрастили у заднего конца глотки машущий хвост – так намного проще (быстро) уплыть от любой потенциальной угрозы.

## **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.