

Премия Браги (Brageprisen) в номинации non-fiction



ХИМИЯ ЧЕЛОВЕКА

Как **железо** помогает нам дышать,
калий — видеть, и другие секреты
периодической таблицы

Аня Рёйне

Аня Рёйне

**Химия человека. Как железо
помогает нам дышать, калий
– видеть, и другие секреты
периодической таблицы**

«Азбука-Аттикус»

2018

УДК 546+553
ББК 24.12+26.34+20.1

Рёйне А.

Химия человека. Как железо помогает нам дышать, калий – видеть, и другие секреты периодической таблицы / А. Рёйне — «Азбука-Аттикус», 2018

ISBN 978-5-389-20923-7

Наши тела состоят из химических элементов – это очевидно, но мы редко задумываемся, как важен и незаменим каждый элемент: например, фосфор скрепляет нашу ДНК, калий питает наши зрительные нервы, а благодаря железу кислород попадает в легкие. Мы сделаны из того же материала, что и окружающий мир, и можем существовать лишь до тех пор, пока получаем все нужные для жизни вещества в виде пищи, воды и воздуха. Другие важные элементы поддерживают наши технологии и все наше общество в рабочем состоянии. История человеческой цивилизации – это во многом история того, как мы научились добывать необходимые нам вещества из недр земли и обрабатывать их, но как долго может продолжаться эта история успеха, не рискуем ли мы «истратить» Землю? Физик Аня Рёйне приглашает нас в удивительное путешествие по самым неожиданным местам планеты и сразу по нескольким наукам – химии, физике, геологии, – чтобы познакомить нас с кирпичиками, из которых сделаны наши тела и все остальное в мире, и рассказать, откуда они берутся. Теперь мы можем увидеть в совершенно новом свете малоизвестных и невоспетых героев периодической таблицы Менделеева и проникнуться к ним заслуженным уважением. В формате PDF А4 сохранён издательский дизайн.

УДК 546+553
ББК 24.12+26.34+20.1

ISBN 978-5-389-20923-7

© Рёйне А., 2018
© Азбука-Аттикус, 2018

Содержание

Введение	7
1	9
Понедельник: рождение Вселенной	10
Вторник – четверг: звезды рождаются и умирают	12
Пятница: образование Солнечной системы	13
Суббота: начинается жизнь	15
Воскресенье: живая Земля	17
Полсекунды до полуночи: наша цивилизация	19
Человечество и будущее	21
Конец ознакомительного фрагмента.	22

Анья Рёйне
Химия человека
*Как железо помогает нам
дышать, калий – видеть, и другие
секреты периодической таблицы*

Anja Røyne
MENNESKETS GRUNNSTOFFER
Byggeklossene vi og verden er laget av

Перевод опубликован с согласия Stilton Literary Agency
Перевод с норвежского Дарьи Гоголевой
Научный редактор: А. В. Спиридонов, старший научный сотрудник кафедры динамической геологии геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

© Anja Røyne, 2018
© Гоголева Д., перевод на русский язык, 2021
© Издание на русском языке, оформление. ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус», 2021
КоЛибри®

* * *

Увлекательнейший обзор самых разных тем, начиная с дыхания и заканчивая исследованиями космоса, – серьезная наука, поданная в предельно доступной для понимания форме.

Эндрю Круми, шотландский писатель, доктор физических наук

Физик Анья Рёйне объясняет, какую роль играют различные элементы в организме человека, и вместе с нами посещает самые разные места по всему миру, где можно эти элементы найти.

Publishers Weekly

Отличный образец научно-популярной литературы: Рёйне помещает новые знания в более широкий контекст – в большие актуальные дискуссии об обществе и будущем нашей планеты. Это не просто хорошо написанный рассказ о химических элементах, это книга о том, как быть человеком на Земле сегодня.

Осмунн Эйкенес, норвежский биолог, член жюри премии Браги

Это не просто ликбез по химии, это книга, в которой подробно рассматривается воздействие человека на планету и то, чему мы можем научиться у природы.

School Library Journal

Введение

Наше опасное отношение к своей планете



Мы с вами – часть жизни, когда-то зародившейся на нашей планете. Наши тела состоят из атомов, образовавшихся одновременно со Вселенной. Мои дети растут, и их тела строятся из химических элементов, содержащихся в почве, воде, горных породах, воздухе. Когда-нибудь атомы моего тела станут елями, ледниками и гранитом.

Но каждый из нас – это не просто тело. Точно так же, как и мои пальцы, важна одежда, которую я ношу, дом, в котором живу, и нож, которым режу хлеб. Не будь рудников и бульдозеров, благодаря которым производятся минеральные удобрения и продукты питания, вы, вероятно, никогда не появились бы на свет.

У каждого из окружающих нас предметов и материалов, из которых они изготовлены, своя роль в уникальном явлении, созданном людьми, – нашей цивилизации. И мне нравится цивилизация. Нравится жить в теплом доме и бывать в новых для меня местах. Я едва ли представлю свою нынешнюю жизнь без всех имеющихся в мире знаний, доступных по одному нажатию кнопки, хотя, когда я росла, на полках стояли энциклопедии, а в почтовом ящике лежали написанные от руки письма.

Каждый день появляются новые дома, новые мобильные телефоны, новые люди. Невероятно, как это все происходит. Но где взять кирпичики, из которых строятся вещи, еда и люди? Из чего все это сделано? Неужели когда-нибудь кирпичики на нашей планете кончатся и все остановится?

Мы много говорим об окружающей среде. О том, как наше потребление влияет на воду, почву и воздух. О том, что разные виды животных вымирают с той же скоростью, как и тогда, когда падение огромного метеорита уничтожило динозавров. О том, что в океане столько мусора, что когда-нибудь пластика там окажется больше, чем рыбы. Не меньше внимания мы уделяем нефти и углю, которые сжигаем на электростанциях и в автомобилях, – они вот-вот изменят климат, и многие территории на Земле в ближайшем будущем станут непригодными для жизни.

От разговоров о разрушении окружающей среды я ощущаю собственное бессилие. Где мое место в этой картине мира? Я виновата, что целые виды вымирают? Какой мир я оставлю своим детям? Что можно сделать – не только для того, чтобы облегчить себе совесть, но и на самом деле повернуть развитие мира в лучшую сторону? Я написала эту книгу, чтобы мы с вами поговорили о том, к каким последствиям – одновременно невероятным и катастрофическим – приводит появление на свет вещей, продуктов питания и в конечном итоге нас самих. Для начала поймем, о чем мы говорим, а затем примемся за поиск решений, важных для тех, кто придет после нас.

1

История мира и химических элементов в семи днях



История химических элементов начинается с появления на свет Вселенной. История долгая, почти необъятная, если сравнивать с доступным человечеству временем. Поэтому, взяв за основу рассказ о сотворении мира, я уложу свою историю в семь дней.

Миллиард лет уместится в половину суток, миллион лет – в 3/4 минуты, а тысяча лет пройдет за 0,44 секунды. Вселенная родилась 13,8 миллиона лет назад, но в нашем повествовании будем считать, что время появилось, когда стрелки часов перевалили за полночь в ночь на понедельник. Пока вы читаете эти строки, часы бьют полночь и воскресенье заканчивается¹.

¹ Обновленные временные промежутки геологических эпох взяты из Международной хроностратиграфической шкалы (International Chronostratigraphic Chart), подготовленной Международной комиссией по стратиграфии, v 2017/02, <https://stratigraphy.org/chart>. (Русский перевод: <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2017-02Russian.pdf>.)

Понедельник: рождение Вселенной

В самом начале не существовало ни времени, ни пространства. Никто в мире не знает, как и почему все началось. Но сначала произошел Большой взрыв. Он выбросил энергию во все уголки новорожденной Вселенной. Вначале царил хаос, а затем молодая Вселенная оказалась под контролем известных нам законов природы².

Пыль у меня дома собирается в комья – это лишь вопрос времени; схожим образом во Вселенной стали образовываться сгустки энергии. Эти сгустки, или частицы, энергии мы называем *массой*: материя, вещество, осязаемое, то, что во Вселенной создает все, что теоретически можно взять и потрогать.

Мое тело, вещи и планета, на которой мы живем, – все, что нас окружает, состоит из атомов. Атомы состоят из частиц трех видов: протоны, нейтроны и электроны. Протоны и нейтроны образуют атомное ядро. Если ядро избавится или, наоборот, добавит себе несколько протонов, атом станет другим химическим элементом³. Изначально в атоме столько же электронов, сколько протонов, но электроны вращаются на орбитах – атомы обмениваются ими во время химических реакций.

Протоны, нейтроны и электроны образовались в раскаленной мешанине энергии и массы, которую представляла из себя юная Вселенная. Протоны и нейтроны склеились и стали ядрами атомов таких химических элементов, как водород, гелий и литий. У этих наиболее мелких и легких элементов в ядрах соответственно один, два и три протона. Сегодня водород – важнейший кирпичик для воды и тех органических молекул, из которых состоят живые существа. Ваши тела примерно на 10 % состоят из водорода – таким образом, род мы ведем прямо от рождения Вселенной.

Через 16 секунд после полуночи Вселенная более или менее остыла: электроны прикрепились к атомным ядрам и связь не распадалась в то же мгновение. А значит, и свет впервые стал свободно перемещаться по Вселенной и ему не препятствовали раскаленные электроны. Вот так почти сразу после полуночи во Вселенной появился видимый свет, хоть и смотреть на него было некому.

В течение следующих 12 часов распределенная по Вселенной масса продолжила образовывать сгустки. Из атомов образовались огромные облака, и еще до трех часов утра скопления этих облаков превратились в первые галактики. Одна из них станет Млечным Путем, домом человечества. Сегодня Млечный Путь – одна из более чем двух триллионов галактик Вселенной.

В шесть часов утра некоторые облака атомов так увеличились в размерах, что под их собственным весом произошел коллапс – они сжались в объеме и уплотнились. Так появились первые звезды⁴. В одной из них – значительно более крупном по сравнению с нашим Солнцем сгустке материи – оказались атомы водорода: они превратятся в кислород, который вы только что вдохнули.

Вес окружающих атомов с огромной силой притянул друг к другу атомы водорода. Из-за этого от ядер оторвались первые электроны. Затем давление стало столь мощным, что ядра водорода слились в одно целое, образовав атомы гелия. Из-за слияния выделилось огромное

² Ранняя история Вселенной от Большого взрыва до появления первых атомных ядер: G. Rieke, M. Rieke, «The Start of Everything», «Era of Nuclei», конспекты лекций к курсу NatSci102 Университета Аризоны: ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/lectures/eraofnuclei.htm.

³ Происхождение химических элементов: J. Johnson, «Origin of the Elements in the Solar System», *Sloan Digital Sky Surveys blog*, January 9, 2017, blog.sdss.org/2017/01/09/origin-of-the-elements-in-the-solar-system.

⁴ Первые звезды и галактики: R. B. Larson and V. Bromm, «The First Stars in the Universe», *Scientific American* 285, no. 6 (2001): 64–71.

количество энергии, нагревшее скопление атомов. Так оно стало светящейся звездой. Сегодня на Солнце протекает тот же самый процесс. Когда вы смотрите в окно, вам в глаза попадает свет, идущий от атомных ядер, сливающихся в недрах Солнца.

Постепенно большинство ядер водорода превратились в гелий, и количество высвобождаемой в недрах звезды энергии сократилось. У центра звезды не было силы сопротивляться давлению окружающей материи. Произошел коллапс. Так начался новый этап жизни звезды. Из-за коллапса атомы гелия оказались так близко друг к другу, что вновь стали сливаться. Три ядра гелия (по два протона в каждом) стали одним ядром углерода с шестью протонами. Затем ядро углерода соединилось с еще одним ядром гелия – образовалось ядро с восемью протонами. Это кислород, чей атом вместе с ядром в данный момент движется к вашему мозгу в красном кровяном тельце⁵.

Внутри звезды продолжился процесс слияния атомных ядер – образовывались все более и более тяжелые элементы. Ваши тела на 86 % состоит из углерода, азота и кислорода, появившихся на данном этапе. На Земле для образования подобных химических элементов слишком низкое давление – можно с уверенностью утверждать, что эти кирпичики нашего тела родом со звезд. Все мы – звездные существа. Кроме того, на этом этапе появились железо для нашей крови, фосфор для скелета и ДНК, алюминий для мобильных телефонов и компоненты соли, которой вы посыпаете еду (она состоит из натрия и хлора).

Через пару минут нашей истории длиной в неделю жизнь звезды оборвется столь зрелищным взрывом, что он получит название «сверхновая звезда». Во время взрыва образовались еще более тяжелые, чем железо, элементы, среди прочего – никель, медь и цинк. Электрические провода в вашем доме изготовлены из материалов родом со сверхновой.

То, что осталось после взрыва и не разбросало по Вселенной, притянулось друг к другу и схлопнулось: превратилось в нейтронную звезду. В ней все атомные ядра слились в огромный сгусток размером с крупный город (с диаметром примерно 10 километров), фактически став огромным атомным ядром, хотя химическим элементом мы его не называем. В нашей собственной Галактике существует около миллиарда нейтронных звезд, но, так как по сравнению с другими звездами они мелкие и холодные, увидеть их не так просто.

Когда я размышляю о том, сколько во Вселенной места и насколько малы нейтронные звезды, произошедшее далее кажется мне почти невероятным. Тем не менее нам известно, что, по всей видимости, случилось. В первые дни существования Вселенной нейтронные звезды иногда сталкивались. При столкновении образовывались золото, серебро, платина, уран и целый ряд других элементов, настолько тяжелых, что образуются они лишь в подобного рода экстремальных условиях. Новые элементы разбросало по Вселенной – они смешались с облаками пыли и атомов.

Так в первый из семи дней возникли химические элементы. Во Вселенной они образуются и по сей день. Звезды все время рождаются и умирают, взрываются и сталкиваются. Но на Земле атомные ядра вполне стабильны. На нашей планете химические элементы возникают и разрушаются лишь во время радиоактивных процессов, когда делятся нестабильные ядра урана и других тяжелых химических элементов. Протекающие внутри звезд процессы почти невозможно воссоздать даже в научных лабораториях. Комбинируя химические элементы, мы создаем материалы – тут наши возможности практически безграничны; но, если говорить о самих химических элементах, нам остается довольствоваться тем, что есть.

⁵ Как образуется кислород: B. S. Meyer et al., «Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Oxygen», *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 68, no. 1 (2008): 31–35.

Вторник – четверг: звезды рождаются и умирают

Следующие три дня Вселенная шла по тому же пути. Звезды рождались – звезды умирали. От сверхновых по Вселенной расходились ударные волны и облака материи. Так как внутри звезд водород и гелий, сливаясь, образовывали новые химические элементы, общее количество азота и гелия во Вселенной сокращалось, а количество тяжелых элементов росло.

Пятница: образование Солнечной системы

В пятницу, в четыре часа дня, неподалеку от нас умерла звезда. Ударная волна от сверхновой сжала пыль и газ, содержащиеся в облаке, – там же был и кислород, который вы только что вдохнули. Запустилась цепная реакция: сгустки материи стали настолько тяжелыми, что притянули к себе пыль и газ, находившиеся поблизости от них, а чем больше и тяжелее они становились, тем больше собирали из окружающего их пространства. Без пятнадцати пять облако стало звездой, вокруг которой вращалось несколько планет. Эта звезда – Солнце, центр Солнечной системы⁶.

Все планеты вращаются вокруг звезды. Чем ближе к звезде расположена планета, тем сильнее ее нагревает излучение – результат протекающих в недрах звезды реакций. В Солнечной системе ближайшие к Солнцу планеты очень горячие. Сегодня температура на их поверхности превышает четыре сотни градусов. На самых отдаленных планетах холодно. Солнечные лучи не разогревают их выше нуля градусов. Самые далекие планеты – замерзшие миры, где температура примерно 200 градусов ниже нуля.

Но одна планета расположена в самой подходящей точке. В пригодной для жизни области космоса температура на планете настолько низкая, что вода не кипит, и настолько высокая, что не превращается в лед⁷. Это планета Земля – она и станет нашим домом.

Правда, вначале Земля была раскаленной, даже жидкой. С ней регулярно сталкивались крупные и мелкие метеориты. Один из них обрушился на Землю с такой силой, что материя, оторвавшаяся в результате столкновения, образовала на орбите сгусток – так появилась Луна⁸.

По мере того как Земля постепенно остывала в холодном космосе, тяжелые элементы, такие как железо, золото и уран, оседали ближе к центру жидкого шара⁹. Легкие элементы (кремний и главные компоненты наших тел – углерод, кислород, водород и азот), напротив, остались на поверхности и постепенно образовали прочную кору из породы, содержащей кремний, а с внешней стороны оказалась газовая атмосфера.

В первичной атмосфере образовались молекулы – группы атомов, в которых два атома водорода соединились с одним атомом кислорода. Это вода. В половине седьмого вечера температура упала настолько, что молекулы воды сбились в капли. Когда капли увеличились и в размере, и по весу, на поверхность пролился дождь – появился первый теплый океан¹⁰.

В глубине океана произошло поистине волшебное событие. Углерод, водород и кислород, сцепившись друг с другом, образовали крупные молекулы – в них также содержалось небольшое количество серы, азота и фосфора. В какой-то момент молекулы приобрели структуру, давшую им возможность создавать собственные копии, объединяя расположенные поблизости от них химические элементы по той же схеме. Это основа жизни. Когда эти молекулы из сложной химической системы превратились в живой организм? Жизнь появилась сразу, в одной точке, или же захватила планету после целого ряда попыток? На данный момент у ученых нет ответа на этот вопрос, но мы сами – доказательство того, что жизни улыбнулась удача.

⁶ Происхождение Солнечной системы, ударная волна от сверхновой: P. Banerjee et al., «Evidence from Stable Isotopes and ¹⁰Be for Solar System Formation Triggered by Low-Mass Supernova», *Nature Communications* 7 (2016): 13639.

⁷ «Пригодная для жизни область» – территория на подходящем расстоянии от звезды. См. определение понятия «пригодная для жизни область» у НАСА: nasa.gov/ames/kepler/habitable-zones-of-different-stars.

⁸ Теории о происхождении Луны: R. Boyle, «What Made the Moon? New Ideas Try to Rescue a Troubled Theory», *Quanta Magazine*, August 2, 2017, quantomagazine.org/what-made-the-moon-new-ideas-try-to-rescue-a-troubled-theory-20170802.

⁹ Тяжелые элементы осели к центру Земли, а те, что мы добываем из земной коры, появились позже с метеоритами (гипотеза позднего привноса, англ. late veneer hypothesis): Robb (2005).

¹⁰ B. Dorminey, «Earth Oceans Were Homegrown», *Science*, 29 ноября 2010 г., sciencemag.org/news/2010/11/earth-oceans-were-homegrown.

Металлами, осевшими в центр планеты, человечество не воспользуется никогда. Просто они залегают слишком близко к центру Земли. К счастью, около 10 часов вечера в пятницу произошло событие, которое окажет решающее воздействие на то, как люди выстроят общество. Остаток вечера Землю обстреливали метеориты. Ученые точно не знают почему. Возможно, устанавливались орбиты крупных планет и это влияло на движение материи в Солнечной системе. В любом случае металл из этих метеоритов усеивал всю земную кору и не оседал к центру, поскольку земная кора стала крепче. Из этого металла сегодня мы делаем автомобили и вилки.

Примерно за полчаса до перехода от пятницы к субботе земная кора стала трескаться и двигаться¹¹. Кора нашей планеты по-прежнему состоит из плит, перемещающихся по океану вязкой расплавленной породы. Снаружи, на поверхности, так холодно, что, когда расплавленная порода вырывается на поверхность через трещины между плитами, она застывает и становится земной корой. Поэтому плиты, перемещаясь относительно друг друга, постоянно меняют форму. Когда сталкиваются континенты, расположенные на двух плитах, образуются горные цепи – прямо сейчас таким образом формируются Гималаи: Индия поджимает Азию с юга. Во многих местах плита с тонким океанским дном проскальзывает под толстую земную кору континента, расположенного на другой плите. Сегодня это происходит вдоль тихоокеанского побережья Южной Америки. Где-то литосферные плиты трутся друг о друга, двигаясь плечо к плечу. Иногда они застревают, а в итоге, проскальзывая, вызывают крупные землетрясения. Разрушается порода, и в коренной породе возникают крупные системы трещин, или разломы.

Совместное движение литосферных плит сейчас носит название «тектоника плит». Из всех планет Солнечной системы только у Земли столь активная поверхность¹². Сложно сказать, почему движется именно кора Земли, но без этого движения наша планета оказалась бы мертвой. Благодаря тектонике литосферных плит вещество Земли находится в постоянном движении: на поверхности оказывается то, что унесло в океан воды и ветры, и то, что было похоронено на морском дне миллионы лет. В земной коре возникают разломы, через которые из глубин выносятся химические элементы¹³. Сегодня из оставшихся разломов такого рода мы извлекаем золото и иные металлы.

¹¹ Когда началась тектоника плит? О различных теориях и результатах: В. Stern, «When Did Plate Tectonics Begin on Earth?», *Speaking of Geoscience: The Geological Society of America's Guest Blog*, 15 марта 2016 г., speakingofgeoscience.org/2016/03/15/when-did-plate-tectonics-begin-on-earth.

¹² В силу своих размеров и удаленности от Солнца Марс и Меркурий уже давно полностью остыли, а на Венере тектоническая активность проявляется другими способами, менее активно (про спутники планет здесь речи не идет). – *Прим. науч. ред.*

¹³ Химические элементы выносятся не только водой, но и лавами и другими способами. – *Прим. науч. ред.*

Суббота: начинается жизнь

Земная кора подвергалась метеоритной бомбардировке примерно до ночи субботы, до 00:45¹⁴. Затем обстановка на планете стала спокойнее. До половины шестого утра на Земле появилось магнитное поле – невидимый щит, защищающий Землю от наиболее мощных и опасных излучений Солнца¹⁵. Не будь подобной защиты, чтобы выжить, нам пришлось бы находиться в подземных пещерах.

Примерно в то же время возникли первые одноклеточные организмы.

По сути, живые организмы – это не что иное, как мелкие механизмы, создающие собственные копии с помощью энергии окружающей среды. Разумеется, у них бывают и дополнительные функции – фиксировать то, что происходит вокруг, двигаться или общаться. Наши тела черпают энергию из потребляемой нами пищи, и исследователи полагают, что самые первые живые создания брали необходимую энергию из химических соединений в глубинах океана¹⁶. По-прежнему существуют целые экосистемы, живущие в крошечной темноте – там, где раздвигаются литосферные плиты. Там сквозь напоминающие трубу структуры, расположенные на дне океана, вырывается поток обогащенной минералами воды – химические соединения этих минералов содержат энергию, необходимую живущим там существам.

Сегодня почти все земные живые существа получают энергию от Солнца – или напрямую, посредством фотосинтеза, или употребляя в пищу молекулы, хранящие в себе солнечную энергию. В процессе фотосинтеза энергия солнечного света расходуется на то, чтобы расщепить диоксид углерода и воду на углерод, водород и кислород. Затем атомы объединяются и строят новые комбинации – таким образом, появляются богатые энергией молекулы, известные нам как углеводы, белки и жиры. Судя по всему, фотосинтез возник у живущих в океане бактерий – в субботу, примерно в 15:00. Сегодня в этом процессе задействованы все зеленые растения, деревья и синезеленые водоросли. Во всем, что содержится в этих организмах, есть капля солнечной энергии.

Когда диоксид углерода и вода превращаются в растительный материал, остаются атомы кислорода. Организмы, осуществляющие фотосинтез, выбрасывают атомы кислорода в форме молекул: в них атомы кислорода связаны друг с другом попарно. Молекулы кислорода имеют ярко выраженное свойство вступать в реакции с другими соединениями: нам это известно по огню – это не что иное, как кислород, вступающий в реакцию с углеродом и прочими горючими веществами и высвобождающий энергию в форме тепла, – поэтому мы не нашли бы молекул кислорода ни в океане, ни в атмосфере, если бы их постоянно не воспроизводил тот или иной источник. Кислород – жизненно необходимый для нас газ – непрерывно образуется в результате фотосинтеза. Однако изначально в атмосфере Земли молекул кислорода не было. Первым организмам кислород для выживания тоже не требовался.

До начала процесса фотосинтеза в Мировом океане было растворено огромное количество железа. Сейчас уже такого нет. В настоящее время при контакте с водой поверхность железа быстро становится красной, грубой и легко ломается. Этот красный материал, ржав-

¹⁴ Не существует точного ответа на вопрос о длительности и точных сроках «бомбардировки земной коры» (поздней тяжелой бомбардировки). См. статью в Википедии «Late Heavy Bombardment», обновлено 19 июня 2018 г., en.wikipedia.org/wiki/Late_Heavy_Bombardment.

¹⁵ Согласно новым результатам, магнитному полю Земли минимум 4 миллиарда лет (до полуночи), а не 3,2 миллиарда лет, как предполагалось ранее. S. Zielinski, «Earth's Magnetic Field Is at Least Four Billion Years Old», *Smithsonian*, 30 июля 2015 г., smithsonianmag.com/science-nature/earths-magnetic-field-least-four-billion-years-old-180956114.

¹⁶ Обобщение новых теорий: R. Brazil, «Hydrothermal Vents and the Origin of Life», *Chemistry World*, 16 апреля 2017 г., chemistryworld.com/feature/hydrothermal-vents-and-the-origins-of-life/3007088.article.

чина, – химическое соединение железа и кислорода. Пока в воздухе и воде есть кислород, незащищенное железо всегда заржавеет.

После обеда в субботу, между 15:00 и 18:45, заржавели океаны. Весь кислород, образованный на первых этапах фотосинтеза, вступил в реакцию с железом – он осел на дно в виде ржавчины. Постепенно ржавчина преобразовалась в толстый слой слоистой породы. Сегодня мы выкапываем эту красную породу, отделяем кислород в больших печах и используем железо для изготовления ножей и рельсов.

Когда основная масса железа заржавела, в океане начал накапливаться кислород. Для большинства первых появившихся на планете созданий кислород – смертельный яд. Таким образом, фотосинтез привел к одному из самых массовых истреблений видов за всю историю нашей планеты¹⁷. Однако были существа, сумевшие извлечь из кислорода пользу. Они воспользовались имеющимся в окружающей среде кислородом для высвобождения солнечной энергии из организмов, которых они употребляли в пищу. Так они получали энергию, необходимую для поддержания собственных жизненных процессов – самостоятельно заниматься фотосинтезом им уже было не нужно.

В то время как огромное количество форм жизни сдались под натиском ядовитого кислорода, пользовавшиеся им организмы приобрели огромное преимущество. Мы – их потомки. Энергия, которую вы тратите на чтение этой книги, движение глаз и преобразование текста в информацию в мозге, – результат химических реакций, во время которых в клетках тела кислород и углеводы превращаются в диоксид углерода и воду.

Постепенно океанская вода насыщалась кислородом, и он стал подниматься из океана в атмосферу. Как следствие, на Земле произошли значительные перемены. Наша планета непрерывно излучает в космос тепло, и температура на ее поверхности сильно зависит от того, какое количество этого излучения удерживают газы в атмосфере. Мы зовем это явление парниковым эффектом. Раньше атмосфера была богата метаном – он вбирает большое количество теплового излучения, а потому поверхность Земли не остывала¹⁸. Когда из-за кислорода метан в атмосфере стал расщепляться, парниковый эффект ослаб, и планета погрузилась в глобальный ледниковый период. До самого вечера субботы, до 21:15, огромная часть биоразнообразия, появившегося в океане, погибла от холода¹⁹.

В высших слоях атмосферы молекулы кислорода столкнулись со светом Солнца, несущим огромные запасы энергии – два атома кислорода оторвались друг от друга. Когда одиночные атомы сталкивались с пролетающими мимо молекулами кислорода, образовывался озон – молекула, состоящая из трех атомов кислорода. Озоновый слой оказался эффективной ловушкой для наиболее насыщенной энергией части солнечного света. Достигнув земной поверхности, этот свет способен уничтожить наиболее уязвимые органические молекулы. Сегодня благодаря озоновому слою мы находимся под открытым небом, не нанося серьезных повреждений глазам и коже.

Когда появился озоновый слой, живые организмы смогли выжить на поверхности воды – и даже на суше²⁰. Здесь для фотосинтеза было еще больше солнечного света – резко выросло производство органического материала и кислорода. Первые формы жизни, оказавшиеся на суше, – это ковер из бактерий и водорослей, покрывших плоскую, золотистую поверхность и заложивших основы того, что станет плодородной почвой планеты.

¹⁷ Кислородная катастрофа: Rasmussen (2008). По данным этого источника, фотосинтез мог начаться позже, чем описано в этой книге.

¹⁸ Состав первичной атмосферы Земли: D. Trail et al., «The Oxidation State of Hadean Magmas and Implications for Early Earth's Atmosphere», *Nature* 480 (2008): 79–83.

¹⁹ Гуронское оледенение: Young (2013).

²⁰ Первые формы жизни на суше после появления озонового слоя: Pomarenko (2015).

Воскресенье: живая Земля

Организмы с клеточным ядром, от которых мы произошли, появились ранним воскресным утром в половину четвертого²¹. В пять часов утра одноклеточные организмы начали столь тесно сотрудничать, что уже рассматриваются не как самостоятельные единицы, а как живые существа, состоящие из нескольких клеток²². Однако, прежде чем жизнь закипела в том виде, в каком мы ее знаем, прошло много времени. После обеда, в 17:25, после того как на Земле закончился еще один глобальный ледниковый период, продлившийся с 15:15 до 16:15, появились особые виды животных и растений, выстроившие в океане сложные экосистемы²³. Когда геологи изучают окаменевшее океанское дно, относящееся к последующему периоду, они находят окаменевшие останки огромного количества различных видов, таких как головоногие и трилобиты, напоминающие мокриц.

В воскресенье вечером, в 18:05, на сушу выползли первые животные. Начался процесс по преобразованию ковра из водорослей и породы в плодородный слой земли, в который пустили корни первые наземные растения, – это случилось примерно через минуту после половины седьмого. Благодаря корням растений, цеплявшимся за землю, воду, а позже и за стволы деревьев, мешавшим ветру сдувать рыхлые материалы, поверхность земли перестала быть ровной и скучной, появилось некоторое разнообразие – реки, долины, болота и озера²⁴.

Жизнь на земле перенесла несколько тяжелых ударов. Извержения вулканов, падения метеоритов и смена солнечной активности – все это способствовало значительным изменениям температуры, уровня Мирового океана и количества кислорода в атмосфере и океане. 85 % видов, возникших после первого расцвета сложных живых организмов, вымерли во время глобального ледникового периода в 6:36²⁵. Жизнь возродилась, но в 19:28 трилобиты задохнулись из-за нехватки кислорода на дне океана – они исчезли вместе с 80 % всех видов, обитавших в то время в океане²⁶.

Наиболее масштабное до сегодняшних дней массовое вымирание видов случилось в воскресенье вечером, в 20:56, когда в Сибири произошли мощнейшие извержения вулканов – в атмосферу выбросило диоксид углерода, что привело к повышению температуры и окислению Мирового океана, – сегодня нам эта проблема хорошо знакома. Окаменелости, сохранившиеся со времен сразу после вымирания, свидетельствуют о катастрофе, оставившей после себя пустынный ландшафт – ни лесов на суше, ни коралловых рифов в океане²⁷.

Однако через пару минут в лесах и океанах вновь закипела жизнь, возникало все больше видов. Хорошие времена закончились в 21:34, когда очередное глобальное потепление уничтожило минимум три четверти всех обитавших на Земле видов. Среди выживших были и появившиеся чуть ранее половины десятого млекопитающие и динозавры²⁸. Может быть, именно благодаря уничтожению конкурентов динозавры получили шанс стать следующими хозяевами

²¹ Rasmussen (2008).

²² Первые многоклеточные организмы: S. Zhu et al., «Decimetre-Scale Multicellular Eukaryotes from the 1.56-Billion-Year-Old Gaoyuzhuang Formation in North China», *Nature Communications* 7 (2016): 11500.

²³ Кембрийский взрыв: Young (2013).

²⁴ Первые животные и растения на суше, изменения ландшафта: Pomarenko (2015).

²⁵ Ордовикско-силурийское вымирание: P. M. Sheehan, «The Late Ordovician Mass Extinction», *Annual Review of Earth and Planetary Science* 29 (2001): 331–364.

²⁶ Массовое вымирание в конце девонского периода: A. E. Murphy et al., «Eutrophication by Decoupling of the Marine Biogeochemical Cycles of C, N and P: A Mechanism for the Late Devonian Mass Extinction», *Geology* 28 (2000): 427–430.

²⁷ Массовое вымирание в 8:56 вечера воскресенье: Z.-Q. Chen and M. J. Benton, «The Timing and Pattern of Biotic Recovery Following the End-Permian Mass Extinction», *Nature Geoscience* 5 (2012): 375–383.

²⁸ Млекопитающие и динозавры до 9:30 и очередное глобальное потепление в 9:34 (Триасово-юрское вымирание): Benton and Harper (2009).

Земли. Когда динозаврам в 23:12 пришлось сдаться, судя по всему, климат на Земле был настолько неблагоприятным, что падение огромного метеорита туда, где сегодня расположена Мексика, оказалось последним гвоздем в крышку гроба многих живших на Земле видов.

Теперь, когда опасность оказаться съеденными динозаврами миновала, млекопитающие рассеялись и заняли огромное количество экологических ниш. Поначалу климат был теплее, чем сегодня, но примерно в 23:25 температура начала падать²⁹. В 23:43 огромную часть темных, пышных джунглей сменили травянистые равнины³⁰. Именно эти травы заложат основу для земледелия ближе к полуночи. Некоторые млекопитающие в результате развития уже стали теми, кого сегодня мы знаем как обезьян, а без пятнадцати полночь от остальных обезьян отделились человекообразные обезьяны, к которым относятся гориллы, шимпанзе и люди.

От человекообразных обезьян люди отделились за пять минут до полуночи – в этой точке мы находимся сейчас. Две минуты назад наши предки пользовались первыми каменными орудиями труда, чтобы разрубить кости животных и добраться до питательного костного мозга³¹.

Одну минуту 20 секунд назад температура земного шара заметно снизилась и планета вошла в цикл ледниковых периодов и межледниковий – он не закончился и по сей день³². Для первобытных людей, живших в то время, принципиально было овладение огнем. Однако, судя по всему, костер вошел в повседневную жизнь не раньше, чем за 13 секунд до полуночи.

Огонь обогрел людей, защищал от хищников, и благодаря ему они получили возможность видеть друг друга и окружающий мир после захода солнца. Готовя еду на костре, люди пользовались накопленной в дровах солнечной энергией – она расщепляла пищу, и их челюстям и пищеварительной системе уже не надо было выполнять всю работу. Освободившуюся благодаря этому энергию можно было потратить на другую деятельность, что, вероятно, оказалось решающим фактором для развития наших способностей к мыслительной деятельности и коммуникации.

Наш вид *Homo sapiens* появился в Африке девять секунд назад. Долгое время мы были лишь одним из видов людей. Нам известны неандертальцы – они жили в Европе и на Среднем Востоке до появления *Homo sapiens*. Неандертальцы бок о бок жили с нашим видом – закончилось это полторы секунды назад, когда либо они не выдержали конкуренции, либо их истребили наши предки. Лишь последние полсекунды *Homo sapiens* является единственным живущим на Земле видом человека.

За секунду до полуночи у *Homo sapiens* появился язык, а с ним и способность рассказывать друг другу истории, планировать будущее и вести торговлю между группами людей. С помощью новых технологий, таких как лук и стрелы, нитка и иголка, рыболовные крючки, лодки и масляные лампы, они вышли за пределы Африки и заняли весь мир³³.

Первобытные люди жили кочевыми племенами. Члены племени совместно охотились и собирали дикие съедобные растения, а также заботились о детях, стариках или больных, внося вклад в общее дело. Мы быстро приближаемся к полуночи, и общество становится все более и более узнаваемым для современных людей.

²⁹ В 11:25 (ранняя эоценовая эра) температура начинает снижаться: R. A. Rhode, «65 Million Years of Climate Change», en.wikipedia.org/wiki/File:65_Myr_Climate_Change.png.

³⁰ Травянистые равнины в 11:43 (переход к эпохе миоцена): B. Jacobs et al., «The Origin of Grass-Dominated Ecosystems», *Annals of the Missouri Botanical Garden* 86 (1999): 590–643.

³¹ Человекообразные обезьяны отделились от других обезьян в 11:45; люди отделились от человекообразных обезьян, первые каменные орудия, овладение огнем: Benton and Harper (2009).

³² Ледниковые периоды и межледниковья: T. O. Vorren and J. Mangerud, «Glaciations Come and Go», in *The Making of a Land: Geology of Norway*, ed. I. B. Ramberg et al., trans. R. Binns and P. Grogan, Norsk Geologisk Forening, 2006.

³³ Костер в повседневной жизни людей, *Homo sapiens*, истребление неандертальцев, язык, технологическое развитие: Harari (2014).

Полсекунды до полуночи: наша цивилизация

Трудно по-настоящему ощутить промежуток времени, длящийся меньше секунды. Поэтому сменим масштаб. Рассмотрим последние полсекунды мировой истории как 500-метровую дистанцию – мы только-только подошли к финишной черте. Каждый метр соответствует тысячной доле секунды, или 23 реальным годам. Если бы мы пользовались подобным масштабом для описания истории Вселенной, дистанция составила бы более 600 тысяч километров – это почти как от Земли до Луны плюс почти весь обратный путь. 500-метровая дистанция началась 11,5 тысячи лет назад, в те времена, когда люди впервые стали жить на одном месте в течение длительного времени.

Когда люди перешли от кочевого образа жизни к оседлому, у них впервые появилась возможность владеть большим количеством вещей, чем они в состоянии перенести к следующему месту жительства. Сразу же стало актуально изготовление специальных орудий, каждое из которых эффективнее всего справлялось с одной задачей. У людей тоже появилась специализация. Вместо того чтобы делать всё, многие получили возможность тратить больше времени на то, что они умели лучше всего. Группе в целом было выгодно, чтобы несколько человек посвятили себя изготовлению одежды или инструментов, в то время как остальные охотились или собирали растения.

Вероятно, земледелие возникло как побочный эффект оседлого образа жизни. Собиратели приносили домой те растения, которые им больше нравились. В мусоре, оставшемся после сбора и приготовления пищи, были в том числе и зерна – тем самым сложились благоприятные условия для того, чтобы неподалеку от поселения появились всходы. В свою очередь, людям стало легче собирать урожай именно с этих растений. Так как люди чаще собирали урожай с тех экземпляров, которые им больше подходили, например с более крупными зёрнами, постепенно именно эти виды стали первыми сельскохозяйственными культурами. Со временем люди поняли, что собираемый вблизи поселения урожай можно увеличить, если расчистить, поливать и распахивать землю. За 315 метров до финиша люди стали земледельцами.

Благодаря земледелию у людей появился стабильный и предсказуемый источник пищи – в результате выросло население. Однако были и недостатки. Земледелие – тяжелая и однообразная работа, и у земледельцев, судя по всему, стало меньше свободного времени, чем у их предков-кочевников. Пища также стала более однообразной, следствием чего стало неправильное питание, а когда выдавался неурожай, наступал голод.

Хотя, возможно, люди вели более здоровый образ жизни, а кроме того, были счастливее до того, как занялись земледелием, именно оно заложило основы тому, что мы зовем цивилизацией. Благодаря выращиванию и хранению продуктов питания появилась возможность и необходимость в организации общества с иерархией и специализацией. За 200 метров до финиша люди стали объединяться в первые царства – появились и письменный язык, и деньги, и религии. Одомашнив животных, таких как быки и лошади, люди приобрели дополнительный источник физической силы, благодаря чему появилась возможность расчистить и распахать более крупные территории, а значит, прокормить больше людей. С помощью домашних животных люди получили возможность за более короткое время преодолевать значительные расстояния, поэтому возросла эффективность обмена товарами и знаниями.

Именно в обществах со специализацией люди разработали сложные технологии, необходимые для добычи и применения металлов. За 200 метров до финиша люди производили инструменты из бронзы, а за 140 метров – из железа³⁴. За 88 метров до цели, примерно во

³⁴ Медь, железо: Arndt et al. (2017).

время появления на свет Христа, началось производство стали³⁵. За 22 метра до финиша человечество прошло через то, что называется научной революцией, – тогда появились новые и системные методы для изучения законов природы.

До этого момента человеческая деятельность была в той или иной форме связана с солнечным светом, каждый день достигающим поверхности Земли. Хранящаяся в растительном материале солнечная энергия сжигалась для производства тепла – или же ее поглощали люди или животные, используя как мышечную силу. Кроме того, мельницы работали на гидроэнергии, а, значит, люди пользовались энергией той воды, которую Солнце подняло из океана на возвышенности, а корабли приводил в движение ветер: он дует из-за разницы температур, которая возникает, когда солнечные лучи достигают земной поверхности³⁶.

За 11 метров до финиша люди всерьез взялись за ископаемые источники энергии – энергию Солнца, копившуюся в земле миллионы лет. Когда дневной солнечный свет дополняет, во-первых, уголь, а также нефть и газ, почти любая промышленность работает, не опасаясь нехватки топлива из-за вырубки близлежащих лесов. Промышленная революция изменила человеческий мир³⁷.

За три метра до финиша появились антибиотики, что подарило нам медицину, способную вылечить болезни в обществе, где детская смерть перестала быть обыденным событием, а рождение ребенка не подвергало жизнь женщины смертельной опасности³⁸.

За два метра до финиша человечество побывало в космосе³⁹.

Затем часы пробили полночь, и мы оказались в сегодняшнем дне. Мы живем в мире открытых возможностей. Благодаря нашим уникальным способностям мы справимся с любой возникшей проблемой.

³⁵ Сталь: World Steel Association AISBL, «The Steel Story», 2018, worldsteel.org/steelstory.

³⁶ Как люди используют энергию, в том числе домашних животных и гидроэнергетику, промышленная революция: Smil (2004).

³⁷ Развитие сельского хозяйства, царств, письменного языка, денег, религий; промышленная революция: Haragi (2014).

³⁸ Антибиотики: R. I. Aminov, «A Brief History of the Antibiotic Era: Lessons Learned and Challenges for the Future», *Frontiers in Microbiology* 1 (2010): 134.

³⁹ Человек в космосе: N. T. Redd, «Yuri Gagarin: First Man in Space», Space.com, 24 июля 2012 г., space.com/16159-first-man-in-space.html.

Человечество и будущее

Когда люди стали вести оседлый образ жизни, их было не так уж много. Возможно, всего около пары миллионов. С переходом к аграрному обществу их количество выросло до 10 миллионов. С этого момента численность населения ровно и неуклонно росла. Когда люди научились пользоваться бронзой и железом, население выросло в 10 раз, до 100 миллионов. С тех пор население Земли удваивалось множество раз. Перед самым рождением Христа численность населения составила 200 миллионов. В XIII веке, когда в Норвегии строились мачтовые церкви⁴⁰, количество живущих в мире людей составило 400 миллионов. Цифра 800 миллионов была достигнута во время промышленной революции, в самом конце XVIII века. В конце XIX века население вновь удвоилось, до 1,6 миллиарда. В 1960-е мы преодолели отметку 3,2 миллиарда, а в 2005 году – 6,4 миллиарда. Если темпы роста населения сохранятся, следующее удвоение численности населения – до 12,8 миллиарда – завершится в 2068 году. Однако сегодняшнее развитие указывает на то, что численность населения стабилизируется или начнет сокращаться до того, как мы достигнем цифры 11 миллиардов. На момент написания этого текста мировое население прошло отметку 7,6 миллиарда⁴¹

⁴⁰ Мачтовые церкви (каркасные церкви, ставкирки) – деревянные церкви особого типа, возводившиеся в Средние века в Северной Европе. В настоящий момент в Норвегии сохранилось 28 подобных сооружений, самое древнее из которых датируется XII в. – *Прим. перев.*

⁴¹ Данные по численности мирового населения на протяжении истории – усредненные значения из 10 источников, обобщенные в Википедии, «Estimates of historical world population», обновлено 21 июля 2018 г., en.wikipedia.org/wiki/World_population_estimates. Данные по количеству населения в настоящее время взяты с сайта Worldometer, worldometers.info/world-population.

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.