

Роберт Хейзен

# ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ

ОТ ЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ — К ЖИВОЙ ПЛАНЕТЕ



ПЕРВЫЕ  
4 500 000 000 ЛЕТ



Династия

ЭНД

Книга известного популяризатора науки, профессора Роберта Хейзена, знакомит нас с принципиально новым подходом к изучению Земли, в котором переплетаются история зарождения и развития жизни на нашей планете и история образования минералов. Прекрасный рассказчик, Хейзен с первых строк увлекает читателя динамичным повествованием о совместном и взаимозависимом развитии живой и неживой природы. Вместе с автором читатель затаив дыхание совершает путешествие сквозь миллиарды лет: возникновение Вселенной, появление первых химических элементов, звезд, Солнечной системы и, наконец, образование и подробная история Земли. Движение целых континентов через тысячи километров, взлет и падение огромных горных хребтов, уничтожение тысяч видов земной жизни и полная смена ландшафтов под воздействием метеоритов и вулканических извержений – реальность оказывается гораздо интересней любого мифа. Воображение астробиолога, методология историка и острый глаз натуралиста помогают автору изумительно ясно описывать самые сложные вопросы науки. Однако Хейзен не останавливается на нашем времени, основываясь на последних научных открытиях, – он дает читателю захватывающую возможность заглянуть в будущее.

---

---

- [Роберт Хейзен](#)
    - 
    - 
    - [Введение](#)
    - [Глава 1](#)
      - 
      - [Первоначальный свет](#)
      - [Рождение химии](#)
      - [Космические ключи к разгадке](#)
      - [Сборка Солнечной системы](#)
      - [Каменные миры](#)
      - [Глубины времени](#)
    - [Конец ознакомительного фрагмента.](#)
  - [notes](#)
    - [1](#)
    - [2](#)
    - [3](#)
- 
-

# Роберт Хейзен

## История Земли. От звездной пыли – к живой планете. Первые 4 500 000 000 лет

Переводчик Тамара Казакова

Редактор Антон Никольский

Научный консультант Владимир Сурдин, к. ф.-м. н.

Научный консультант Николай Короновский, д. г.-м. н.

Руководитель проекта И. Серёгина

Корректоры Е. Аксенова, М. Миловидова

Компьютерная верстка А. Фоминов

Дизайнер обложки О. Сидоренко

Фото на обложке Shutterstock

© Robert M. Hazen, 2012

© Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Альпина нон-фикшн», 2015

\* \* \*

*Посвящается Грегори: грядут перемены – пусть тебе хватит  
мудрости и мужества приспособиться к ним*



Династия

Фонд некоммерческих программ

«Династия»

основан в 2002 г.

Дмитрием Борисовичем Зиминым, почетным президентом компании «Вымпелком».

Приоритетные направления деятельности Фонда – поддержка фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещение.

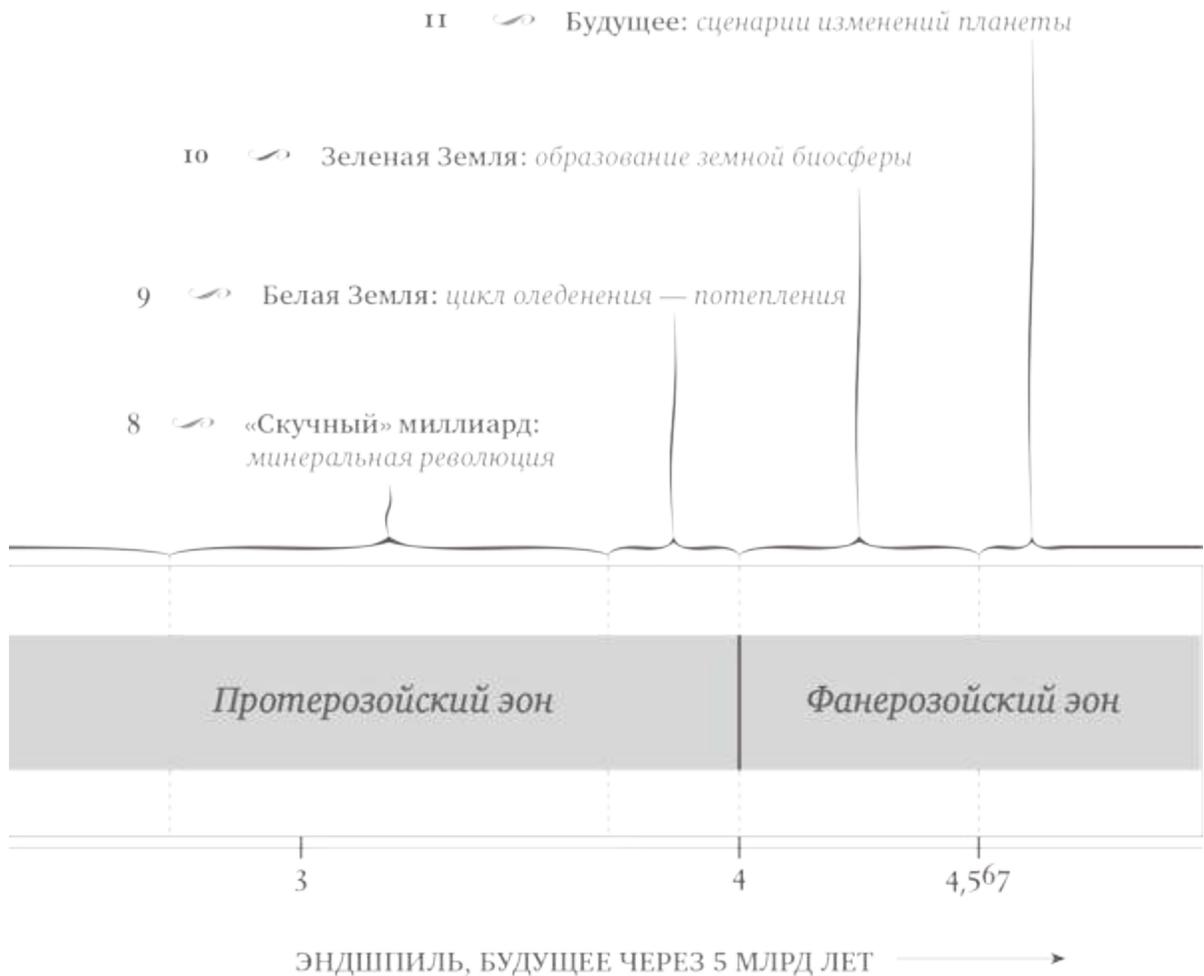
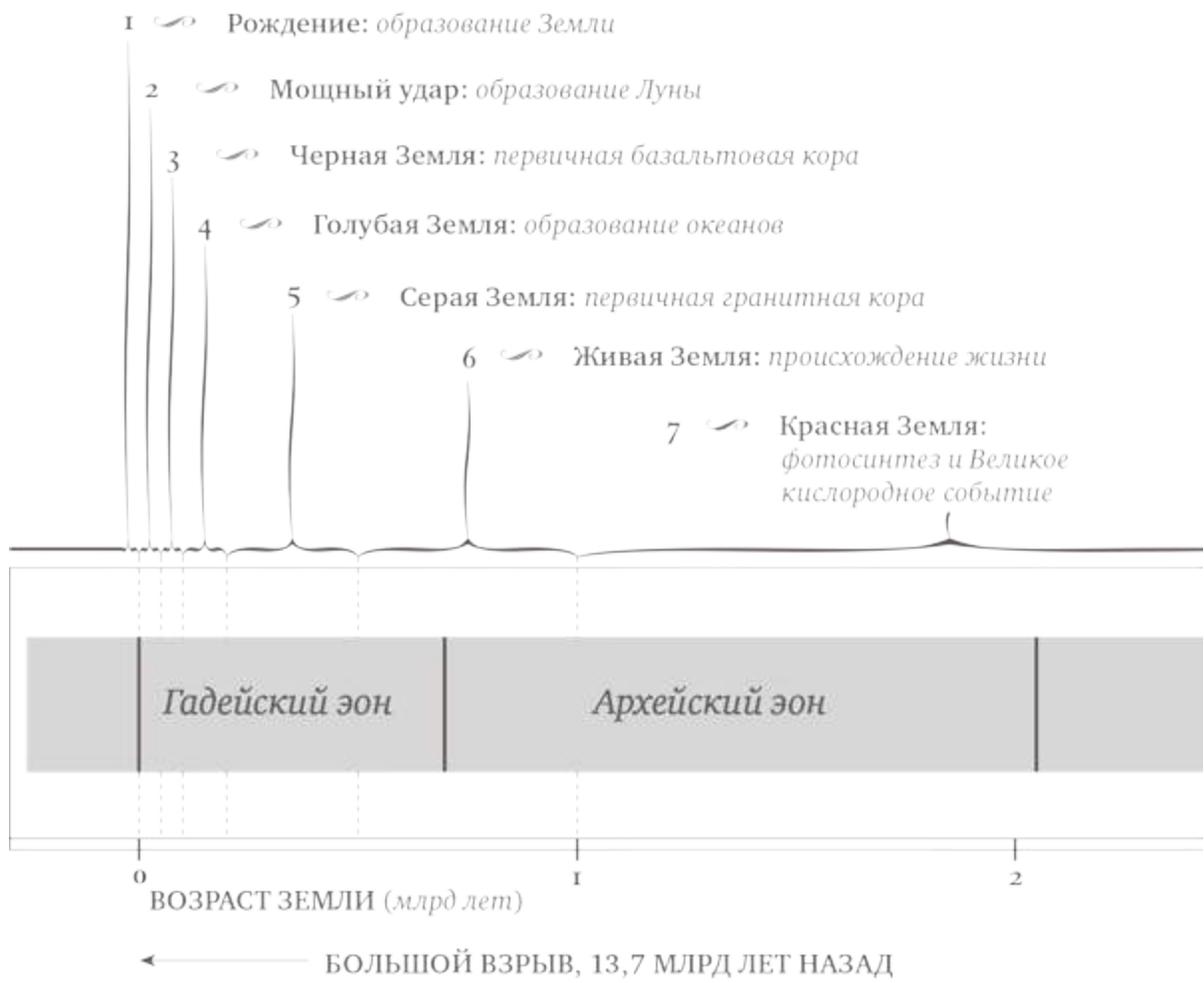
В рамках программы по популяризации науки Фондом запущено несколько проектов.

В их числе – сайт [elementy.ru](http://elementy.ru), ставший одним из ведущих в русскоязычном Интернете тематических ресурсов, а также проект «Библиотека «Династии» – издание современных научно-популярных книг, тщательно отобранных экспертами-учеными.

Книга, которую вы держите в руках, выпущена в рамках этого проекта.

Более подробную информацию о Фонде «Династия» вы найдете по адресу

[www.dynastyfdn.ru](http://www.dynastyfdn.ru).



# Введение

Одно из самых захватывающих изображений, сделанных в XX в., – фотография восхода Земли, снятая космонавтом с лунной орбиты в 1968 г. Мы всегда знали, как уникален и прекрасен наш мир: Земля – единственная известная планета с океанами, насыщенной кислородом атмосферой и жизнью. Тем не менее многие оказались не готовы к столь потрясающему контрасту между крайне враждебным человеку ландшафтом Луны, безжизненным мраком космической бездны и привлекательностью нашей бело-голубой планеты. С той удаленной точки, дающей хороший обзор, Земля выглядит маленькой, одинокой и уязвимой – и вместе с тем более прекрасной, чем все остальные небесные тела.

Мы с полным основанием можем восхищаться нашей родной планетой. Более чем за два столетия до Рождества Христова греческий ученый-энциклопедист Эратосфен Киренский провел первое в мире документально подтвержденное исследование планеты Земля. Чтобы измерить окружность Земли, он применил простой и остроумный способ, основанный на наблюдении за тенями. В египетском городе Сиене (ныне Асуан) во время летнего солнцестояния он в полдень наблюдал за солнцем, которое располагалось в зените. Вертикальный столбик не отбрасывал никакой тени. В другом конце Египта, в тот же самый день и тот же час, в приморском городе Александрия, примерно в 840 км севернее, точно такой же столбик отбрасывал короткую тень, указывая на то, что в этой местности солнце находилось не прямо над головой. Применяв теоремы своего великого предшественника Эвклида, Эратосфен пришел к выводу, что Земля должна иметь форму шара, и вычислил, что окружность этого шара составляет примерно 40 225 км – результат, поразительно близкий к современным данным, согласно которым в районе экватора Земля имеет в окружности 40 075 км.

На протяжении тысячелетий великое множество других ученых, от большинства из которых не сохранилось даже имен, исследовали и познавали нашу родную планету. Они выясняли, как образовалась Земля, как она движется в пространстве, из чего она состоит и как устроена. При этом самый главный вопрос, волновавший всех людей науки, заключался в том, как Земля развивалась и как на ней возникла жизнь. В наши дни благодаря накопленному поколениями опыту и возможностям современных технологий нам известно о Земле гораздо больше, чем могли даже вообразить ученые прошлого. Разумеется, и мы не знаем всего, но все же наши познания о Земле значительно обогатились.

По мере расширения и углубления знаний о Земле, превратившихся за тысячелетия в устойчивые представления, становилось все очевиднее, что история Земли – это история изменений.

Многие данные указывают на то, что Земля меняется год за годом, век за веком. Ритмические осадочные толщи, или варвиты, найденные в некоторых ледниковых озерах Скандинавии, запечатлели более чем тринадцатитысячелетнюю историю непрерывного накопления сезонных слоев, отличающихся друг от друга размерами слагающих их зерен – тонкозернистый осадок сменялся грубозернистым вследствие ежегодной активизации эрозии во время весеннего таяния. В результате бурения ледников в Антарктиде и Гренландии получены данные о сезонных отложениях льда за более чем восемьсот тысячелетий. В Вайоминге, в сланцах Грин-Ривер, обнаружены тончайшие, толщиной с бумажный лист, слои осадочных отложений, запечатлевшие геологические события,

происходившие в течение более миллиона лет. Все эти отложения покоятся на гораздо более древних породах, которые в свою очередь несут следы грандиозных циклов преобразований.

Исследование длительных геологических процессов указывает на еще более масштабные события в истории Земли. Образование Гавайских островов произошло в результате нечастой, но регулярной вулканической активности, когда слои лавы последовательно накладывались друг на друга в течение десятков миллионов лет. Сглаженные очертания Аппалачей и других древних горных массивов объясняются постепенной эрозией, происходившей в течение сотен миллионов лет, прерываемой время от времени грандиозными оползнями. Внезапные сдвиги тектонических плит смещали целые континенты, воздвигали горы и создавали океаны на протяжении всей геологической истории.

Земля всегда была беспокойной, постоянно развивающейся планетой. Все в ней, от ядра до коры, непрерывно меняется. Даже в наше время и атмосфера, и океаны, и суша подвержены изменениям, хотя, возможно, и не таким интенсивным по сравнению с относительно недавним прошлым. Нелепо было бы не обращать внимания на тревожные признаки таких изменений, и вряд ли мы совершим такую глупость – ведь наш интерес к родной планете так же естествен, как в свое время для Эратосфена. Однако не меньшей глупостью было бы сосредоточиться на текущем состоянии Земли, не используя в полной мере возможность узнать как можно больше об ее удивительном прошлом, изменчивом и непредсказуемом настоящем, а также о нашей собственной роли и месте в ее будущем.

Большая часть моей жизни ушла на изучение нашей живой, сложной, изменчивой планеты. В детстве я собирал камни и минералы, загромождая комнату образцами кристаллов и окаменелостей вперемешку с букашками и костями. Вся моя профессиональная деятельность также отмечена этой одержимостью Землей. Я начал с исследований таких объектов, которые невозможно разглядеть даже в микроскоп, размером с атом, – пытался выявлять молекулярное строение породообразующих минералов, нагревая и сдавливая малюсенькие зерна минералов, чтобы воспроизвести условия «сковарки» в недрах Земли.

Со временем мой интерес сместился в сторону более масштабных геологических событий в пространстве и времени. В десятках разных мест: от пустынь Северной Африки до ледяных просторов Гренландии, от Гавайских островов до высочайших вершин Скалистых гор, от Большого Барьерного рифа у берегов Австралии до древних окаменелых коралловых рифов – природные библиотеки Земли раскрывали передо мной многие миллиарды лет эволюции земных стихий, полезных ископаемых, горных пород и самой жизни. По мере того как мои исследования распространялись на изучение роли минералов в геохимической предыстории происхождения жизни, мне стала открываться взаимосвязь эволюции жизни и минералов на протяжении всей истории Земли – даже более поразительная, чем можно было ожидать; выяснилось, что не только некоторые горные породы возникли в результате жизнедеятельности организмов (что хорошо видно в известняковых пещерах на всех континентах), но и сама жизнь, по всей вероятности, возникла на основе горных пород. За более чем четыре миллиарда лет истории Земли эволюционное развитие минералов и жизни на планете (геология и биология) удивительно переплелись, но только в последнее время эта взаимосвязь привлекла пристальное внимание науки. В 2008 г. эти мысли нашли выражение в провокационной статье в «Эволюция минералов» (*Mineral Evolution*). У некоторых ученых новые неоднозначные аргументы вызвали одобрение: они расценили, что это открытие

способно впервые за последние два столетия поколебать всю систему знаний о минералах, тогда как остальные отнеслись к публикации весьма настороженно, как к еретическому пересмотру основ нашей науки в контексте геологического времени.

Древняя наука минералогия, играющая первостепенную роль во всем, что касается Земли и ее прошлого, отличается, как это ни странно, удивительной статикой и отчужденностью от колебаний научной мысли в целом. Вот уже более двухсот лет минералоги занимаются исключительно исследованием химического состава, плотности, твердости, оптических свойств и кристаллической структуры. Посетите любой естественно-исторический музей – и вы поймете, о чем я говорю: в стеклянных шкафах покоятся великолепные образцы кристаллов, снабженные этикетками, на которых указано название, химическая формула, кристаллическое строение и местонахождение. У этих ценнейших фрагментов Земли богатое историческое прошлое, но вряд ли вы сможете найти какие-либо указания на возраст их образования и последующие геологические преобразования. Традиционный подход разлучает сами минералы с увлекательной историей их бытия.

Эта традиция нуждается в пересмотре. Чем больше мы узнаем о богатейшем прошлом горных пород Земли, тем очевиднее становится тот факт, что вся природа, живая и неживая, претерпевала все новые и новые изменения. Растущее понимание двух реальных категорий, присущих нашей планете, – времени и эволюционных изменений позволяет предположить не только то, как именно появились первые минералы, но и когда это произошло. А недавнее открытие живых организмов в среде, которая традиционно считалась непригодной для жизни, в раскаленных жерлах вулканов, кислотных озерах, арктических льдах и стратосферной пыли – превращает минералогию в ключевую науку среди всех других, которые ищут разгадку происхождения и сохранения жизни на планете. В ноябрьском 2008 г. выпуске ведущего минералогического журнала *American Mineralogist* мы с коллегами опубликовали статью, в которой сформулировали новый подход к минералогическим исследованиям – с учетом невероятных преобразований минералов на неизученном отрезке времени. Мы подчеркнули, что много миллиардов лет назад минералов нигде в космосе вообще не существовало. Никакие кристаллические соединения не могли образоваться и тем более сохраниться в беспредельно раскаленном вихре Большого взрыва. Понадобилось около полумиллиона лет, чтобы в гигантском котле творения мира образовались первые атомы – водорода, гелия и мизерное количество лития. Еще много миллионов лет спустя под воздействием сил гравитации эти первичные газообразные образования сгустились в туманности, которые затем распались на раскаленные плотные ослепительные звезды. И только когда эти первые звезды, взорвавшись, образовали сверхновые звезды, остывающие сгустки газа, содержащего множество элементов, распались на мелкие кристаллики алмазов – и началась космическая сага минералов.

Вот так я превратился в исследователя, одержимого свидетельскими показаниями горных пород, ибо, сколь бы ни были эти свидетельства отрывочными и неопределенными, только они способны поведать историю своего рождения и смерти, остановки и движения, происхождения и развития. Эта никем еще не рассказанная, длинная и многогранная история органических и неорганических образований на Земле, взаимосвязанной эволюции живой и неживой природы поражает воображение. И мы должны услышать ее, поскольку мы сами – это тоже Земля. Все, что обеспечивает нам укрытие и средства к существованию, все то, чем мы владеем, поистине каждый атом и молекула нашей телесной оболочки – все это приходит от Земли и возвращается в Землю. Познать нашу планету означает познать частицу самих

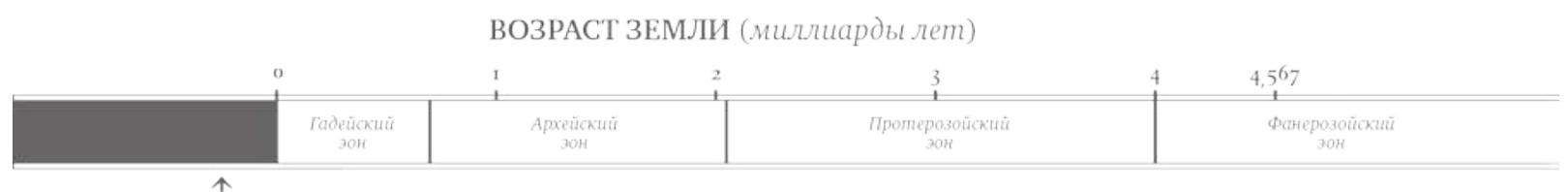
себя.

Исследовать историю Земли необходимо еще и потому, что сегодня ее водные ресурсы и атмосфера меняются со скоростью, невиданной за все предыдущие периоды ее существования. Уровень океанов повышается, они сильнее нагреваются и быстрее окисляются. В планетарном масштабе меняется характер осадков, атмосфера становится все более беспокойной. Тают полярные льды, оттаивает тундра, во многих местах изменяется среда обитания. Как нам предстоит узнать, история Земли – это история эволюции, причем в тех редких случаях, когда скорость изменений становилась опасно высокой, живая природа на Земле расплачивалась тяжкими последствиями. Для того чтобы принять обдуманнные и своевременные меры во имя собственного будущего, необходимо как можно точнее представлять себе историю нашей планеты. Ибо, как подсказывает нам удивительный снимок Земли, сделанный с расстояния 384 400 км от нее, другого дома в ближнем космосе у нас нет.

Вслед за Эратосфеном и тысячами других пытливых умов я намерен в этой книге поведать историю Земли как длительный процесс изменений. Какой бы понятной и знакомой ни казалась нам наша планета, ее бурное прошлое изобилует такими невероятными событиями, что их даже трудно вообразить. Чтобы лучше узнать свой планетарный дом и постичь бесконечные эпохи, сформировавшие его, нам необходимо прежде всего осознать семь фундаментальных истин.

1. Земля состоит из циклического круговорота атомов.
2. Земля несравнимо древнее истории человека.
3. Земля трехмерна, и большинство процессов скрыто от глаз.
4. Горные породы – это летопись истории Земли.
5. Земные структуры: горные породы, океаны, атмосфера, живая природа – тесно взаимосвязаны.
6. История Земли включает длительные периоды застоя, прерываемые внезапными и необратимыми событиями.
7. Жизнь изменила и продолжает изменять поверхность Земли.

Эти представления о существовании Земли позволяют воспроизвести сложный, причудливый и многослойный узор взаимодействия атомов, минералов, горных пород и жизни на протяжении громадных отрезков времени и пространства; мы будем обращаться к ним на последующих страницах, повествуя о фазах развития планеты от первоначального огненного вихря Вселенной до длительной эволюции планеты Земля. Взаимосвязанная эволюция Земли и жизни – новое направление, лежащее в основе этой книги, – часть необратимой последовательности ступеней эволюции, восходящей к Большому взрыву. Для каждой стадии характерны свои процессы и феномены, которые постоянно преобразуют поверхность нашей планеты, неуклонно прокладывая путь к тому удивительному миру, в котором мы живем. Такова история Земли.



# Глава 1

## Рождение

### *Образование Земли*

#### *Миллиарды лет до рождения Земли*

Первоначально не существовало ни Земли, ни Солнца, которое согревает ее. Наша Солнечная система, в центре которой располагается сияющая звезда и в которую входят различные планеты со своими спутниками, в космосе появилась сравнительно недавно – всего каких-нибудь 4,567 млрд лет назад. До того как наш мир возник из небытия, произошло многое.

Место для рождения нашей планеты было подготовлено гораздо раньше, в начале начал – в момент Большого взрыва – около 13,7 млрд лет назад, согласно новейшим данным. Этот миг творения мира остается самым смутным, непостижимым и самым решающим событием в истории Вселенной. Он представляется как сингулярность – превращение из ничего в нечто и не поддается объяснению с помощью законов современной физики или логики математики. Если вы склонны искать признаки существования Бога-Творца в космосе, стоит начать поиски с Большого взрыва.

В самом начале пространство, энергия и материя возникли из непостижимой пустоты. Из ничего. Затем появилось нечто. Мы не способны подобрать метафору к этому событию. Наша Вселенная появилась даже не из вакуума, поскольку до Большого взрыва не было ни пространства, ни времени. Понятие «ничто» подразумевает пустоту – но до Большого взрыва не существовало ничего, в чем могла бы существовать пустота.

Затем в мгновение ока появилось не просто нечто, а все, чему предстояло существовать, и все сразу. В этот момент объем Вселенной был меньше ядра атома. Сверхплотный космос появился в виде чистой однородной энергии, и никакие частицы не нарушали его абсолютное единообразие. Вселенная начала стремительно расширяться, однако не во внешнее пространство (у нашей Вселенной не существует внешнего пространства). Ее объем, все еще состоящий из раскаленной энергии, ширился и увеличивался. По мере расширения Вселенная-энергия остывала. Первые субатомные частицы появились в считанные доли секунды после Большого взрыва – это были электроны и кварки, невидимая субстанция всех твердых, жидких и газообразных элементов, составивших наш мир и порожденных чистой энергией. Вскоре после этого, в течение все тех же долей космической секунды, кварки объединились в пары и триплеты, формируя более крупные частицы, включая протоны и нейтроны, входящие в ядро атома. Все эти структуры оставались предельно раскаленными около полумиллиона лет, пока продолжающееся расширение Вселенной не остудило космос до нескольких тысяч градусов – достаточно низкая температура, чтобы прицепить электроны к ядрам и сформировать таким образом первые атомы. В числе этих атомов подавляющее большинство составлял водород (более 90 % всех атомов), входил небольшой процент гелия и вкрапления лития. Из смеси этих элементов образовались первые звезды.

# Первоначальный свет

Гравитация – великий механизм формирования космических объектов. Атом водорода весьма мелок, но стоит числу атомов увеличиться в 1060 раз (это составит триллион триллионов триллионов триллионов атомов водорода) – и сила их коллективного тяготения неизмеримо возрастет. Гравитация стянет их в центр, формируя звезду – гигантский газовый шар, предельно сжатый в центре. Когда огромный сгусток водорода сжимается, его потенциальная гравитационная энергия преобразуется в кинетическую энергию движущихся атомов, которая в свою очередь преобразуется в тепловую энергию – процесс, аналогичный тому, что происходит при столкновении Земли с астероидом, но сопровождаемый неизмеримо большим высвобождением энергии. Температура в ядре водородного шара повышается до миллионов градусов, а давление – до миллионов атмосфер.

Такая температура и давление инициируют новый феномен, называемый ядерным синтезом. В этих экстремальных условиях ядра двух атомов водорода (каждое из них содержит по одному протону) сталкиваются с такой силой, что ядра сливаются и один из протонов превращается в нейтрон – образуется тяжелый атом водорода. После ряда таких столкновений образуются ядра гелия с двумя протонами. Поразительно, что получившийся в результате атом гелия примерно на 1 % легче исходных четырех атомов водорода, из которых он образовался. По мере обогащения звезды гелием за счет водорода она «воспламеняется», излучая энергию в окружающее пространство.

Крупные звезды, многие из которых гораздо больше нашего Солнца, с течением времени исчерпывают громадные запасы водорода, содержащегося в их ядрах. Однако чрезвычайно высокое внутреннее давление и тепловая энергия продолжают поддерживать ядерный синтез. Атомы гелия в звездном ядре превращаются в углерод – необходимый элемент для возникновения жизни, состоящий из шести протонов, и одновременно продолжают всплески ядерной энергии, вызывающие водородный синтез в сферическом слое, окружающем ядро звезды. Затем из углерода синтезируется неон, из которого рождается кислород, затем формируется магний, потом кремний, сера и т. д. Постепенно звезда приобретает структуру луковицы, в которой ядерный синтез образует один за другим слои из различных элементов. Ядерный синтез все ускоряется до тех пор, пока не наступает фаза образования железа, которая длится не более одного дня. К этому времени, много миллионов лет спустя после Большого взрыва, во многих звездах в процессе ядерного синтеза завершается цикл формирования первых 26 элементов периодической системы.

Железо является предельным элементом ядерного синтеза. Когда водород превращается в гелий, гелий в углерод и происходят все дальнейшие преобразования, высвобождается огромное количество ядерной энергии. Но ядро атома железа содержит наименьшее количество энергии по сравнению с ядрами других элементов. Когда огонь пожирает все топливо, превращая его в золу, тепловая энергия иссякает. Железо представляет собой своего рода ядерную золу; при столкновении атома железа с атомами других элементов ядерная энергия не возникает. Таким образом, когда в массивной звезде неизбежно формируется железное ядро, ее жизненный цикл заканчивается и происходит катастрофа. До этого момента в звезде поддерживается устойчивое равновесие между двумя мощными силами: гравитацией, притягивающей массу звездного вещества к центру, и давлением газа, выталкивающим эту массу из ядра. Когда ядро заполняется железом, процесс выталкивания

массы из ядра останавливается, и победившая сила гравитации в один миг порождает катастрофу. Вся масса звезды настолько стремительно обрушивается к центру ядра, что отскок вызывает взрыв, который называют вспышкой сверхновой звезды. Звезда распадается, выбрасывая большую часть своего вещества в космическое пространство.

Для тех читателей, которые пытаются представить себе устройство космоса, рождение сверхновой звезды ничуть не хуже Большого взрыва. Разумеется, Большой взрыв ведет к образованию атомов водорода, которые, в свою очередь, неизбежно приводят к образованию первых звезд. Однако путь от звезды до знакомого нам мира далеко не так очевиден. Огромный шар, состоящий из атомов водорода, даже если в его ядре скапливаются более тяжелые элементы вплоть до железа, еще не указывает верного направления пути.

Но когда взрываются большие звезды, в космосе появляется нечто новое. Распавшиеся небесные тела усеивают космическое пространство всеми элементами, из которых они состояли. Углерод, кислород, азот, фосфор и сера – основные ингредиенты живой материи – появляются в изобилии. Магний, кремний, железо, алюминий и кальций, входящие в состав горных пород, из которых преимущественно и состоят планеты типа Земли, тоже имеются в достаточном количестве. Но в невообразимом поле энергии, порождаемом взрывающимися звездами, все эти элементы в процессе ядерного синтеза создают самые невероятные комбинации – в результате формируется вся Периодическая таблица, т. е. первичные 26 элементов образуют множество других. Именно тогда рождаются такие редкие элементы, как драгоценные металлы – серебро и золото, утилитарные вещества медь и цинк, ядовитые мышьяк и ртуть, радиоактивные уран и плутоний. Более того, эти элементы в космическом пространстве соединяются и взаимодействуют друг с другом во все новых и новых химических реакциях.

Химическая реакция происходит, когда один обычный атом сталкивается с другим таким же. У каждого атома имеется крохотное, но тяжелое ядро, обладающее положительным электрическим зарядом, окруженное облаком из одного или нескольких отрицательно заряженных электронов. Изолированные атомные ядра практически никогда не взаимодействуют, за исключением внутризвездной «скороварки», для которой характерны сверхвысокие температура и давление. Однако электроны разных атомов постоянно сталкиваются друг с другом. Химические реакции происходят в те моменты, когда встречаются два или более атомов и их электроны вступают во взаимодействие и перегруппировываются. Такое перемешивание и связывание электронов случается по той причине, что их определенные комбинации оказываются наиболее устойчивыми, особенно совокупность двух, десяти или 18 электронов.

Первые химические реакции после Большого взрыва порождают молекулы – небольшие группы атомов, тесно связанных между собой. Еще до того, как атомы водорода в результате ядерного синтеза внутри звезд образуют гелий, в вакуумном пространстве глубокого космоса возникают молекулы водорода ( $H_2$ ), каждая из которых состоит из двух атомов, тесно связанных между собой. У каждого атома водорода только один электрон, т. е. этот атом находится в нестабильном состоянии в условиях космоса, где действует магическое правило двух электронов. Так что встреча двух атомов водорода объединяет их электроны в общую молекулу, обеспечивающую стабильность. Принимая во внимание огромное количество водорода, возникшего в результате Большого взрыва, нетрудно прийти к выводу, что молекулы водорода предшествовали образованию звезд и составляли основную часть космоса с самого начала появления атомов.

Вслед за рождением сверхновых звезд, по мере того как в космосе рассеивались другие

элементы, возникало множество интересных молекул. Среди них одним из самых ранних соединений стала вода ( $H_2O$ ), в молекуле которой два атома водорода соединились с одним атомом кислорода. По всей видимости, именно в пространстве вокруг сверхновых звезд образовались молекулы азота ( $N_2$ ), аммиака ( $NH_3$ ), метана ( $CH_4$ ), монооксида углерода ( $CO$ ) и диоксида углерода ( $CO_2$ ). Всем этим видам молекул предстояло сыграть важнейшую роль в формировании планет и появлении живой материи.

Затем образовались минералы – микроскопические твердые образцы химического совершенства и кристаллической структуры. Первые минералы могли появиться только в условиях высокой плотности скоплений минералообразующих элементов и сравнительно низких температур, чтобы атомы смогли образовать кристаллы. Всего несколько миллионов лет спустя после Большого взрыва благоприятные условия для таких реакций возникли в разреженном и остывающем пространстве вокруг первых взорвавшихся звезд. Крошечные кристаллиты чистого углерода в форме алмаза и графита стали, вероятно, первыми минералами во Вселенной. Эти первые кристаллы представляли собой нечто вроде пыли, отдельные частицы были очень мелкие, но, возможно, достаточные по величине, чтобы сверкнуть в космосе бриллиантовым блеском. К первым углеродистым образованиям вскоре добавились другие высокотемпературные твердые вещества, образованные из таких элементов, как магний, кальций, азот и кислород. Среди них были знакомые нам минералы вроде корунда, химического соединения алюминия с кислородом, которое особенно ценится в своих ярких цветных разновидностях – рубинах и сапфирах. Тогда же появились в небольшом количестве хризолиты (силикат магния с другими составляющими), ныне полудрагоценные камни, астрологические знаки рожденных в августе, и муассаниты (карбид кремния), известные в наше время как дешевый искусственный суррогат бриллиантов. Всего в межпланетной пыли содержалось около дюжины известных нам «полезных ископаемых». Таким образом, после взрыва первых звезд Вселенная начинала становиться разнообразнее.

Ничто в космосе не случается единожды (за исключением, пожалуй, Большого взрыва). Рассеянные в космическом пространстве осколки взорвавшихся звезд постоянно подвергались воздействию сил гравитации. Таким путем остатки первого поколения звезд неизбежно порождали новые звездные скопления, формируя туманности, состоявшие из громадных облаков межзвездного газа и пыли, оставшихся после взрыва предыдущих поколений звезд. Каждая новая туманность содержала больше железа и немного меньше водорода, чем предыдущая. Этот цикл продолжался 13,7 млрд лет: старые звезды порождали новые, изменяя структуру космоса. Неисчислимые миллиарды звезд возникли в неисчислимом количестве галактик.

## Космические ключи к разгадке

В давние-предавние космические времена, пять миллиардов лет тому назад, наше будущее «место жительства» располагалось на обочине Галактики, на полпути от центра Млечного Пути, в необитаемом спиралевидном рукаве, среди миллионов звезд. В этом скромном уголке мало что можно было обнаружить, кроме гигантского облака, состоявшего из межзвездного газа и ледяной пыли, простиравшегося на много световых лет в космическом мраке. Девять десятых этого облака составляли атомы водорода; из оставшейся доли девять десятых приходилось на атомы гелия. Один оставшийся процент состоял из мелких органических молекул и микроскопических частиц минерального вещества.

Такое газово-пылевое облако может существовать в космическом пространстве много миллионов лет, пока какой-нибудь импульс – например, ударная волна от взрыва ближайшей звезды – не запустит процесс образования в нем новой звездной системы. Именно такой пусковой механизм 4,6 млрд лет назад послужил началом формирования нашей Солнечной системы. Очень медленно, на протяжении миллиона лет, вихрь, состоявший из газа и пыли, втягивался внутрь к центру. Подобно вращающемуся фигуристу, гигантское облако крутилось все быстрее и быстрее, по мере того как гравитация притягивала его легкие края к центру. Сжимаясь и ускоряя вращение, облако постепенно уплотнялось и расплющивалось в форме диска, в центре которого росло новое небесное тело, – так рождалось Солнце. Этот центральный шар, вобравший в себя почти весь водород, становился все больше и больше, пока не поглотил 99,9 % всей массы облака. В процессе его роста давление и температура внутри шара поднялись до точки ядерного синтеза, и Солнце зажглось.

Ключи к раскрытию последующих событий содержатся в летописи Солнечной системы, записанной в ее планетах и спутниках, кометах и астероидах, а также в бесчисленных и разнообразных метеоритах. Одним из таких ключей является то, что все планеты и спутники обращаются вокруг Солнца в одной и той же плоскости и в одном и том же направлении. Более того, ближайшие к Солнцу планеты вращаются вокруг собственной оси примерно в той же плоскости и направлении. Ничто в законах движения не обуславливает эту общность вращения; планеты и спутники могли бы вращаться вокруг оси и по орбитам любым способом – с севера на юг, с востока на запад, сверху вниз или снизу вверх – и при этом не нарушать закона тяготения. Такое разнообразие наверняка имело бы место, если бы планеты и спутники были втянуты в Солнечную систему извне. Наблюдаемое орбитальное единообразие в нашей Солнечной системе, напротив, свидетельствует о том, что все ее планеты и спутники образовались в одном и том же плоском, крутящемся газово-пылевом диске и примерно в одно и то же время. Все эти гигантские космические тела сохраняют тот же принцип вращения – общий вращательный момент всей Солнечной системы – со времени начала закручивания облака.

Второй ключ к происхождению Солнечной системы кроется в характерном расположении восьми основных ее планет. Ближайшие к Солнцу планеты – Меркурий, Венера, Земля и Марс – представляют собой сравнительно небольшие твердотельные образования, состоящие преимущественно из кремния, кислорода, магния и железа. Плотные горные породы, вроде черного вулканического базальта, встречаются в основном на поверхности этих планет. В отличие от них четыре внешних планеты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун – являются газовыми гигантами, главным образом состоящими из водорода и

гелия. Эти громадные шары не имеют твердой поверхности и уплотняются по мере углубления в нижние слои атмосферы. Такое деление планет позволяет предположить, что в начальный период существования Солнечной системы, в течение нескольких тысяч лет после образования Солнца солнечный ветер – интенсивный поток заряженных частиц – выталкивал оставшийся водород и гелий во внешние, более холодные области. На достаточном удалении от излучения Солнца эти летучие газы, остывая, уплотнялись, образуя независимые сгущения. Напротив, более крупные, богатые минералами частицы звездной пыли, оставшиеся поблизости от раскаленной звезды, быстро уплотнялись, образуя твердотельные внутренние планеты.

Подробности бурных процессов, сформировавших Землю и остальные внутренние планеты, запечатлены в поразительном многообразии метеоритов. Страшно представить, что на нашу Землю постоянно сыпятся камни с неба. Однако научное сообщество, надо признать, начало проявлять к ним интерес всего лет двести назад, хотя издавна существовал фольклор с красочными историями о метеоритах (например, история с неудачливыми французскими крестьянами). Даже более строгий научный подход к описанию метеоритных дождей страдал от недостатка научно обоснованных данных, а потому и от невозможности объяснения происхождения метеоритов. Американский государственный деятель и ученый-натуралист Томас Джефферсон, читая отчет Йельского университета о наблюдении за падением метеоритов в Вестоне, штат Коннектикут, скептически заметил: «Я скорее поверю в то, что ученые-янки лгут, чем в то, что камни падают с неба».

Позднее, спустя два века, в течение которых были обнаружены десятки тысяч метеоритов, наука наконец убедилась в достоверности их существования. По мере того как исследователи метеоритов охватывали все более обширные территории, а заядлые коллекционеры хвалились редчайшими образцами, музейные и частные коллекции становились все полнее и разнообразнее. Какое-то время в этих хранилищах наблюдался перекоп в сторону железных метеоритов, чья черная кора, причудливые формы и чрезвычайная плотность отличали их от обычных камней. Но в 1969 г. на поверхности девственно чистых льдов Антарктиды были обнаружены тысячи метеоритов, и это кардинально изменило ситуацию.

Метеориты содержат важнейшую информацию о происхождении других планет. Самые распространенные из них хондриты, возрастом 4,656 млрд лет, относятся ко времени, предшествовавшему образованию планет и спутников Солнечной системы, когда ядерный реактор Солнца пришел в действие и колоссальный выброс энергии воспламенил окружающее облако. В результате образовалась своего рода доменная печь, в которой межзвездная пыль, составлявшая облако, спеклась в крохотные вязкие капли, так называемые хондры (от греческого слова, означающего «зерно, гранула»). Размером от дробинки до небольшой горошины, эти продукты воздействия солнечного пламени переплавлялись множество раз, вслед за пульсацией излучения, которое преображало околосолнечное пространство. Скопления этих древнейших хондр сплавлялись в единое целое за счет более мелкой звездной пыли и фрагментов минерального вещества, образуя примитивные хондриты, миллионы которых оседали на поверхности Земли. Хондриты свидетельствуют о коротком промежутке времени между рождением Солнца и формированием планет.

Другой, более молодой вид метеоритов, именуемых ахондритами, относится ко времени, когда вещества Солнечной системы проходили первичную трансформацию: плавились, дробились и т. д. Среди ахондритов наблюдается удивительное разнообразие – кусочки

блестящих металлов и обломки оплавленных камней, фрагменты гладкие, как стекло, и экземпляры, состоящие из глянцевитых кристаллов более 2 см в диаметре. До сих пор в самых отдаленных уголках Земли попадают все новые разновидности ахондритов.

Антарктида – континент, который покрывают тысячи километров древнего голубого льда и где редко выпадает снег. Камни, прилетевшие из космоса, темными, инородными объектами выделяются на этом льду, ожидая, пока их найдут. Благодаря международным соглашениям, запрещающим коммерческое использование этого континента, а также труднодоступности его ледяных просторов, обеспечивается сохранность этих внеземных ресурсов для научных исследований. Группы хорошо экипированных ученых на вертолетах и снегоходах систематически обследуют ледяные пустыни, один квадратный километр за другим. Они тщательно регистрируют и упаковывают каждую находку, стараясь не повредить ее поверхность ни руками, ни даже дыханием. Возвращаясь в цивилизованный мир после каждого антарктического сезона, эти охотники за метеоритами доставляют найденные сокровища в государственные хранилища, чаще всего на склады Смитсоновского института, расположенные в Сьютланде, штат Мэриленд, где тысячи и тысячи образцов хранятся в стерильно чистых, герметичных боксах, занимающих площадь размером с футбольное поле.

Не менее богаты метеоритами, хотя и не настолько доступны организованному собирательству и обеспечению стерильности, крупнейшие пустыни Австралии, юго-запада Америки, Аравийского полуострова и особенно Северной Африки – громадная пустыня Сахара. До обитателей Сахары, кочевых племен туарегов, берберов, тубу и других, дошли слухи, что метеориты могут дорого стоить. В начале XXI в. среди барханов Северной Африки был найден уникальный образец лунного метеорита, который, как считается, был продан в частной сделке за миллион долларов. Пустынному наезднику ничего не стоит сойти с верблюда, поднять какой-нибудь необычный булыжник и привезти его в ближайшую деревню, где представитель неофициальной гильдии охотников за метеоритами, обладающий спутниковым телефоном и хорошо подвешенным языком, перекупит у него камень за жалкие гроши. Через ряд посредников мешки с метеоритами, по пути все более дорожающие, переправляются в Марракеш, Рабат или Каир, а оттуда поступают к торговцам на eBay или на крупные международные выставки-ярмарки камней и минералов.

Во время геологических экспедиций в отдаленные части Марокко мне не раз предлагали мешки из дерюги, набитые камнями, предположительно метеоритами: «никаких посредников, прямо из пустыни, нашли только на прошлой неделе». Такие «сделки», исключительно за наличные, как правило, совершаются в грязных, темных комнатках в задней части хижин из сырцового кирпича, где нет окон, что спасает от палящего солнца пустыни, но не дает возможности толком рассмотреть, что именно тебе предлагают. После официальной части, состоящей из обмена традиционными любезностями и нескольких чашек травяного чая, продавец высыпает содержимое мешка на ковер. Часть товара – это простые камни. Щебень. Нечто вроде проверки: разбираешься ли ты в метеоритах. Там обнаружится также несколько образцов заурядной разновидности хондритов размером от маслины до яйца, частично покрытые оплавленной коркой в результате стремительного прохождения через атмосферу. Стартовая цена обычно во много раз превышает разумную. Если покупатель заявляет, что это слишком обычные, распространенные метеориты, ему могут предложить другой мешок, поменьше, в котором, возможно, окажется железный метеорит или еще более экзотический образец.

Мне вспоминается одна такая сделка, совершенная нашим проводником Абдуллой на

обочине пыльной дороги в нескольких километрах к востоку от Скуры. Продавец, не очень близкий его знакомый, к тому же сомнительной честности, позвонил по мобильному телефону и потребовал обеспечить секретность сделки. «Может, это марсианский метеорит, – сообщил он Абдулле. – Девятьсот граммов. Всего за двадцать тысяч дирхамов». Это около 2400 долларов – если метеорит действительно марсианский и может быть включен в пару дюжин известных образцов, имеющих марсианское происхождение, то сделка довольно выгодная. Они договорились о времени и месте встречи. Два неопишимо странных, неухоженных автомобиля затормозили друг возле друга, мы стали втроем в тесно сомкнутый кружок. Вышеупомянутый образец был аккуратно вынут из бархатного мешочка. Выглядел он самым что ни на есть обычным камнем (впрочем, так выглядят практически все марсианские метеориты). Цена снизилась до 15 000 дирхамов. Затем до 12 000. Но убедиться в его подлинности было невозможно, поэтому мы расстались. Позднее Абдулла признался мне, что его так и одолевало искушение купить, но хорошо, что метеориты попадаются достаточно часто. Лучше не жадничать и не бросаться на первое попавшееся предложение; правды там не добьешься, а сделки расторжению не подлежат.

Подобно льдам Антарктиды, экваториальные пустыни позволяют обнаружить все типы метеоритов, открывая тем самым перспективу раскрыть характер начального этапа формирования Солнечной системы, а следовательно, и происхождения нашей родной планеты. К сожалению, в отличие от Антарктиды, большинство метеоритов, обнаруженных в пустынях, не достигает музейных собраний, по меньшей мере по двум причинам. Главным образом из-за возрастающего числа коллекционеров-любителей (раззадоренных богатыми собирателями и доступностью сахарских находок), составляющих серьезную конкуренцию специалистам. Любой редкий образец немедленно продается, к тому же за большие деньги. Некоторые из таких находок впоследствии наверняка будут переданы в качестве пожертвований в фонды музеев, но большая часть из них подвергается всем опасностям непрофессионального обращения, теряя научную ценность, поскольку к ним прикасаются голыми руками, складывают в непригодные для этой цели мешки многоразового использования и даже роняют в повсеместно распространенный верблюжий помет. Не меньший урон наносится и отсутствием надежной документации, в которой указывалось бы, где и когда данные метеориты были найдены. Большинство перекупщиков сообщат вам, что это «найдено в Марокко», и, разумеется, солгут, поскольку основная территория Сахары расположена восточнее, в Алжире и Ливии – странах, где вывоз метеоритов запрещен законом. А без точной документации большинство музеев откажутся принимать «марокканские» или «североафриканские» образцы.

В неприветливых, засушливых просторах Сахары или голубых льдах Антарктиды любой камень выглядит как чужеродное тело, упавшее с неба. Такие чистейшие образцы метеоритов дают ученым представление о начальных стадиях формирования Солнечной планетной системы, в которой возникла и Земля. Девять десятых всех находок составляют хондриты; оставшаяся часть состоит из разнообразных ахондритов, возникших в начальную эпоху формирования Солнечной системы из вращающегося газово-пылевого облака, продолжавшуюся несколько миллионов лет, в течение которых хондриты склеивались во все более и более крупные тела – планетезимали<sup>[1]</sup>. Вначале они были размером с кулак, затем – с автомобиль, а впоследствии достигли размеров небольшого города. Миллиарды таких тел диаметром несколько километров и больше отвоевывали для себя пространство в пределах узкого кольца вокруг новорожденного Солнца.

Они становились все больше и больше и достигали размеров целых шгатов – сначала Род-Айленда, потом Огайо, Техаса, Аляски. Когда появились тысячи таких хаотически увеличивающихся планетезималей, наступила следующая стадия. Достигая более 80 км в диаметре, два одинаково раскаленных тела соединялись. Гравитационная энергия от столкновения малых тел по интенсивности не уступала ядерной энергии при быстром распаде таких радиоактивных элементов, как гафний или плутоний. Возникшие при этом температуры приводили к трансформации минералов в таких планетезималях, их внутренние области плавилась, образуя зоны различных минералов, напоминающие структуру яйца: плотное металлическое ядро (аналогичное желтку в яйце), мантия, состоящая из силиката магния (белок яйца), и тонкая, ломкая кора (яичная скорлупа). Самые крупные из таких планетезималей формировались под влиянием внутренней тепловой энергии, взаимодействия с водой и постоянных столкновений в перенаселенном околосолнечном пространстве. В результате динамических процессов формирования планет, по-видимому, и образовались три сотни различных минеральных веществ. Эти три сотни минералов и послужили сырьем для формирования твердотельных планет, все эти вещества до сих пор обнаруживаются в падающих на Землю метеоритах.

Время от времени две достаточно крупные планетезимали сталкивались с такой силой, что разлетались на осколки. (Этот бурный процесс до сих пор продолжается в поясе астероидов за Марсом, вследствие гравитационного воздействия гигантской планеты Юпитер.) Соответственно большая часть разнообразных ахондритов, которые мы находим теперь, является осколками таких разрушенных планетезималей. Исследование ахондритов напоминает, таким образом, урок анатомии на примере разъятого на части трупа. Требуется много времени, терпения и множество образцов, чтобы представить ясную картину целого тела.

Легче всего анализировать плотные металлические ядра таких планетезималей, представленных в виде железных метеоритов. Когда-то считалось, что это самый распространенный тип метеоритов, однако большая выборка антарктических образцов позволила выяснить, что железные метеориты составляют весьма скромную долю – 5 % всех выпадений. Соответственно ядра планетезималей должны были отличаться небольшими размерами.

Мантии планетезималей, богатые кремниевыми солями, напротив, представлены в большом разнообразии: говардиты, эвкриты, диогениты, урейлиты, акапулькоиты, лодраниты и т. д. – все они отличаются характерной структурой, текстурой и минералогическим составом и названы по местности, в которой найден первый соответствующий образец. Некоторые из этих метеоритов аналогичны горным породам, существующим на Земле в наше время. Эвкриты представляют собой одну из типичных разновидностей базальта – горной породы, которая обязана своим происхождением вулканической деятельности Срединно-Атлантического хребта и выстилает океаническое дно. Диогениты, состоящие преимущественно из силиката магния, по-видимому, являются результатом оседания кристаллов в крупных подземных резервуарах магмы. По мере охлаждения магмы кристаллы становились плотнее окружающей расплавленной среды, росли и опускались на дно, образуя концентрированную массу, аналогичную той, которая образуется в наше время глубоко под землей в магматических камерах Земли.

Иногда, во время особенно разрушительных столкновений метеорит мог захватить частицы силикатных соединений из пограничной зоны между ядром и мантией

планетезимали, где силикаты соединены с металлами. В результате появлялся прекрасный палласит – потрясающее сочетание блестящего металла и золотистых кристаллов оливина. Шлифованный срез палласита, где блики сверкающего металла на фоне оливина выглядят словно витражи, выделяют его среди самых красивых образцов в мировом собрании метеоритов.

Под воздействием гравитации ранние хондриты соединялись в группы, и сокрушительное давление, высокие температуры, агрессивная вода и жесткие столкновения преобразовывали планетезимали, создавая все новые виды минеральных веществ. В целом во всех образцах метеоритов обнаружено более 250 различных минералов – в 20 раз больше досолнечных протоминералов. Эти разнообразные твердые вещества, включающие раннюю мелкую пыль, пластины слюды и полудрагоценный цирконий, послужили основным строительным материалом для формирования Земли и других планет. Планетезимали разрастались по мере того, как самые крупные из них поглощали более мелкие. В результате этого поглощения несколько дюжин крупных каменных шаров, каждый величиной с небольшую планету, подобно гигантским пылесосам, подчищая на своем пути внутри Солнечной системы значительную часть пыли и газа, срастались между собой и выравнивали свои орбиты до почти идеальных окружностей. Расположение орбит в значительной мере зависело от массы планет.

# Сборка Солнечной системы

Солнце, составляя львиную долю общей массы Солнечной системы, занимает в ней господствующее положение. Сама по себе наша система не принадлежит к числу особо массивных, т. е. Солнце является звездой скромных размеров, что весьма благоприятно для планеты, на которой есть жизнь. Удивительно, но чем больше масса звезды, тем короче ее жизнь. Сверхвысокие температуры и давление внутри больших звезд ускоряют процесс ядерного синтеза. Таким образом, звезда, в десять раз превышающая по массе Солнце, завершает свой цикл в сотни раз быстрее – ее существование длится не более нескольких десятков миллионов лет, что едва ли достаточно для возникновения жизни на одной из ее планет до того, как звезда взорвется, превращаясь в смертоносную сверхновую. И наоборот, какой-нибудь красный карлик, массой в десять раз меньше Солнца, существует в сотни раз дольше, но при этом его слабое излучение может оказаться недостаточным для поддержания жизни на планете, в отличие от нашего желтого благодетеля – Солнца.

Наша промежуточная по массе звезда относится к золотой середине: не слишком большая, с коротким сроком существования, но и не слишком мелкая с недостаточной энергией теплового излучения. Предполагаемый срок ее существования, 9–10 млрд лет безотказного выгорания водорода, предоставляет достаточно времени для развития и поддержания жизни. Конечно, через каких-нибудь 4–5 млрд лет водород в ядре Солнца закончится и звезда перейдет к стадии выгорания гелия. В ходе этого процесса она разбухнет в недружелюбный красный гигант, диаметром в 100 раз больше нынешнего, для начала уничтожит несчастный маленький Меркурий, сожжет и поглотит Венеру и причинит большие неудобства Земле. Тем не менее даже по прошествии 4,5 млрд лет, у нас еще есть время, пока Солнце не войдет в последнюю стадию, когда само существование жизни на Земле станет весьма проблематичным.

Солнечная система обладает еще одной особенностью, благоприятной для существования жизни на планете. В отличие от множества других планетных систем, наша образована вокруг одной звезды. С помощью мощных телескопов астрономы обнаружили, что примерно две трети видимых звезд являются двойными, т. е. такими системами, в которых две звезды «танцуют» вокруг друг друга и имеют общий гравитационный центр. Во время формирования таких звезд водород скапливался в двух отдельных точках пространства, образуя два гигантских газовых шара.

Если бы наше газово-пылевое облако закручивалось сильнее, имея больший момент импульса и, как следствие, большую массу в районе Юпитера, Солнечная система тоже сформировалась бы с двойной звездой. Солнце было бы меньше, а Юпитер, вместо того чтобы стать гигантской, насыщенной водородом планетой, вырос бы до размеров небольшой, богатой водородом звезды. Возможно, жизнь процветала бы между двумя звездами. Или вторая звезда послужила бы дополнительным источником энергии, необходимым для поддержания жизни. Однако гравитационная динамика в двухзвездной системе непредсказуема, и могло бы случиться так, что Земля, активно перемещаясь между двумя мощными источниками притяжения, оказалась бы непригодной для жизни планетой с вытянутой орбитой, неустойчивым вращением и бурными колебаниями климата.

Ныне же наши гигантские газовые планеты, с их скромными размерами и почти круговыми орбитами, ведут себя вполне прилично. Масса самой большой из них, Юпитера, в

тысячу раз меньше Солнца. Этого достаточно, чтобы оказывать весомое воздействие на соседние планеты; благодаря сильному гравитационному полю Юпитера планетезимали в области пояса астероидов так и не срослись в единую планету. При этом массы Юпитера недостаточно для того, чтобы запустить в собственном ядре процесс ядерного синтеза – факт решающего различия между звездами и планетами. Дальняя, окруженная кольцами, планета Сатурн и еще более удаленные холодные Уран и Нептун обладают гораздо меньшими размерами.

Тем не менее все эти газовые планеты-гиганты оказались достаточно крупными, чтобы притянуть на свои орбиты мелкие осколочные небесные тела, образовав нечто вроде собственных маленьких солнечных систем внутри Солнечной системы. В результате вокруг всех четырех внешних планет образовалась свита чрезвычайно интересных спутников, включая сравнительно небольшие астероиды, удерживаемые на орбите воздействием гравитационного притяжения планет-гигантов.

Другие спутники, в том числе и сопоставимые по размерам с внутренними планетами и подверженные динамичным геологическим процессам, образовались не столько из остатков пыли и газа, сколько из осколков, появившихся в процессе формирования других планет. Наиболее активным небесным телом во всей Солнечной системе является спутник Юпитера Ио, чья орбита настолько близка к газовому гиганту, что полный его оборот вокруг Юпитера занимает всего 41 час. Мощные приливные силы постоянно воздействуют на этот спутник диаметром 3643 км, пробуждая примерно полдюжины вулканов, которые выбрасывают гигантские плюмы высотой в сотни километров – уникальное явление в Солнечной системе. Не меньший интерес представляют Европа и Ганимед, крупные спутники размером примерно с Меркурий, состоящие из воды и горных пород – примерно в равных пропорциях. Оба эти спутника разогреты изнутри под влиянием постоянно действующих приливных сил Юпитера. Почти всю их поверхность составляют покрытые льдом океаны, что зафиксировано исследователями НАСА в процессе поиска возможного существования жизни на других планетах.

Сатурн, следующий в ряду внешних планет, обладает более чем пятью дюжинами спутников, не говоря уже о знаменитых кольцах, большую часть которых составляют сверкающие куски льда. Большинство спутников Сатурна имеет сравнительно небольшие размеры и является либо захваченными астероидами, либо осколками самого Сатурна; однако крупнейший из его спутников – Титан – превышает размерами планету Меркурий и окутан толстым слоем атмосферы оранжевого цвета. Благодаря запущенному ЕКА (Европейское космическое агентство) посадочному модулю «Гюйгенс», который опустился на Титан 14 января 2005 г., мы получили с поверхности спутника снимки крупным планом. Разветвленная сеть рек и потоков питает холодные озера, состоящие из жидких углеводородов; в густой, красочной, турбулентной атмосфере содержится большое количество органических молекул. В общем, на Титане стоит поискать признаки жизни.

Самые удаленные газовые планеты-гиганты Уран и Нептун удерживают большое число не менее интересных спутников. На большинстве из них наблюдаются признаки водяного льда, органических молекул и явные динамические процессы. Атмосфера Тритона, крупного спутника Нептуна, богата азотом. Оба гиганта окружены сложно устроенными системами колец, хотя эти кольца состоят, очевидно, по большей части из комков темного углеродистого вещества, размерами примерно с автомобиль, совсем непохожего на блестящие ледяные кольца Сатурна.

Ближе к нашей планете гравитационное поле сохраняет свое влияние. Большая часть водорода и гелия после того, как Солнце зажглось, была вытеснена в район внешних планет-гигантов, и на внутренние области Солнечной системы припала малая доля массы вещества, в основном состоящего из твердых горных пород, наблюдаемых в составе хондритов и ахондритов. Ближе всего к Солнцу сформировался Меркурий – самая маленькая и безводная из каменных планет. Неприветливый, выжженный мир этой самой внутренней из внутренних планет кажется пустым и безжизненным: миллиарды лет его изрезанная кратерами поверхность под лишенным атмосферы небом сохраняется в одном и том же виде. Если поспорить, на какой из планет Солнечной системы наверняка нет жизни, можно смело ставить на Меркурий.

Венера – следующая по порядку планета, близнец Земли по размеру, но в корне отличная от нее по пригодности для жизни – в основном из-за расположения ее орбиты, примерно на 50 млн километров ближе к Солнцу. В начале ее существования на ней, возможно, имелась вода, даже неглубокий океан, но под воздействием теплового излучения и солнечного ветра вода на Венере почти выкипела, лишив планету влаги. Углекислый газ, преобладающий в атмосфере Венеры, закупорил энергию солнечного излучения и таким образом обеспечил парниковый эффект. Ныне средняя температура на поверхности Венеры достигает почти 500 °С – достаточно, чтобы расплавить свинец.

Марс, ближайший сосед Земли и следующий за ней в ряду внутренних планет, гораздо меньше ее (всего одна десятая от массы Земли), но во многих отношениях похож на нашу планету. Как все твердотельные планеты, Марс имеет металлическое ядро и силикатную мантию. Подобно Земле, у него есть атмосфера и значительный запас воды. Относительно слабая гравитация не позволяет Марсу удерживать молекулы газа в верхних слоях атмосферы, так что за миллиарды лет он потерял большую часть воды и воздуха, но все же сохранил теплые и влажные пространства под поверхностью, где могла в какой-то мере поддерживаться жизнь. Неудивительно, что все планетные изыскания нацелены главным образом на эту красную планету.

Земля, «третий камень от Солнца»<sup>[2]</sup>, находится посередине зоны жизни<sup>[3]</sup> Солнечной системы. Земля расположена довольно близко к Солнцу и нагрета настолько, что смогла вытолкнуть значительные объемы водорода и гелия во внешние области Солнечной системы, но при этом достаточно удалена от него и настолько охлаждена, что смогла удержать большую часть воды в жидком виде. Как и остальные планеты Солнечной системы, она возникла около 4,5 млрд лет назад, в основном за счет столкновения хондритов и их последующего группирования во все более и более крупные планетезимали – и так на протяжении нескольких миллионов лет.

# Глубины времени

Все, что нам известно о том, как возникли Солнце, Земля и вся Солнечная система, укладывается в представление о колоссальном периоде – чуть больше 4,5 млрд лет. Мы, американцы, любим отмечать известные даты в истории человечества. Мы отмечаем даты знаменитых изобретений и открытий, например, испытание моторного летательного аппарата братьями Райт 17 декабря 1903 г. или первый полет человека на Луну 20 июля 1969 г. Мы чтим даты общенародных трагедий и испытаний, например, 7 декабря 1941 г. или 11 сентября 2001 г. Конечно же, не забываем дни рождения: 4 июля 1776 г. и, разумеется, 12 февраля 1809 г. (общий день рождения Чарльза Дарвина и Авраама Линкольна). Мы убеждены в достоверности этих памятных дат, поскольку они зафиксированы как в устной, так и в письменной традиции, связывающей нас с не столь отдаленным собственным прошлым.

У геологов тоже принято вести счет времени: около 12 500 лет назад кончилось последнее великое оледенение и люди начали заселять Северную Америку; 65 млн лет назад вымерли динозавры и многие другие существа; в самом начале кембрийского периода, 530 млн лет назад, внезапно появились разнообразные животные с твердым скелетом; более 4,5 млрд лет назад планета Земля начала обращаться вокруг Солнца. Но откуда мы знаем, что эти датировки достоверны? Не существует ни устных, ни письменных источников старше нескольких тысячелетий, где отмечались бы хронологические данные о развитии Земли.

Четыре с половиной миллиарда лет почти невозможно себе представить. Согласно Гиннессу, мировой рекорд долголетия принадлежит француженке, отметившей 122-й день рождения, так что человек не проживает и 4,5 млрд секунд (примерно 144 года). Вся зафиксированная история человечества насчитывает менее 4,5 млрд минут. И все же геологи утверждают, что Земля кружится вокруг Солнца более 4,5 млрд лет.

Такую седую древность нелегко вообразить, но я все же иногда пытаюсь это сделать в процессе длительных прогулок. Южнее Аннаполиса, штат Мэриленд, на 35 км тянутся внушительные, причудливые каменные утесы, окаймляющие с запада Чесапикский залив. Идя вдоль узкой песчаной полосы между сушей и морем, можно найти большое количество ископаемых остатков двустворчатых моллюсков, спиральных улиток, кораллов и морских ежей. Изредка, если очень-очень повезет, можно наткнуться на 15-сантиметровый зазубренный акулий зуб или вдруг покажется полуметровый череп кита, имеющий обтекаемую форму. Эти драгоценные реликты повествуют о времени 15 млн лет назад, когда климат здесь был гораздо теплее и ближе к тропическому, как на острове Мауи, и сюда приплывали рожать величественные киты, а чудовищные 20-метровые акулы охотились на их беззащитных детенышей. Их окаменелые остатки встречаются в толще осадочных пород мощностью 300 м, в которой запечатлено более трех миллионов лет истории Земли. Слои песка и мергеля очень плавно погружаются к югу, так что прогулка по взморью подобна путешествию во времени. Каждый шаг в северном направлении постепенно открывает все более древние слои.

Чтобы представить себе масштаб истории Земли, вообразите прогулку в прошлое, с каждым шагом углубляясь на 100 лет назад, т. е. на три поколения в пересчете на человеческий возраст. Полтора километра такой прогулки уведут вас на 175 тыс. лет назад. Конечно, 25 км Чесапикских холмов – серьезный маршрут для дневной прогулки, зато он

уведет вас в прошлое более чем на три миллиона лет. Но для более или менее значимой отметки в истории Земли придется совершать этот подвиг в течение многих недель. Двадцать дней по 25 км в день помножьте на количество шагов по сто лет каждый – и вы достигнете отметки 70 млн лет назад – период, предшествовавший гибели динозавров. Пять месяцев таких прогулок уведут вас на 530 млн лет назад, во времена кембрийского «взрыва» – почти одновременного появления несметного числа животных с твердым скелетом. Со скоростью, равной ста годам на каждый шаг, вам понадобится не менее трех лет, чтобы достичь времени зарождения жизни, и почти четыре года, чтобы прийти к истокам истории Земли.

Можем ли мы быть уверенными в этих цифрах? Исследователи собрали большое количество разнообразных данных, которые определенно указывают на невероятную древность Земли – на глубины времени. Самые наглядные свидетельства – геологические процессы, которые приводят к ежегодным отложениям осадков; сосчитав слои, можно сосчитать количество лет. Наиболее впечатляющим примером геологического календаря являются вары – сезонные микрослойки – тонкие перемежающиеся слои светлых и темных отложений, в которых представлены весенние осадки, грубозернистые, и зимние, мелкозернистые. Тщательно документированные пробы из ледниковых озер в Швеции представляют данные о 13 527 годах осадконакопления, когда ежегодно появлялся новый сдвоенный слой. Тонкослоистый сланец Грин-Ривер, который обнажается в крутых склонах великолепных каньонов Вайоминга, представляет собой непрерывный вертикальный разрез, в котором можно насчитать более миллиона годовых слоев. Точно так же скважины, пробуренные на глубину тысяч метров в ледниках Антарктиды и Гренландии, вскрывают отложения, которые образовывались в течение более 800 тыс. лет, год за годом, слой за слоем в результате выпадения снега. Все эти отложения располагаются поверх еще более древних горных пород.

## 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.

---

---

**notes**



Теория формирования планет, включающая так называемую «гипотезу планетезималей», была предложена советским астрономом В. Сафроновым и в настоящее время поддерживается большинством астрономов мира. – *Прим. ред.*

По созвучию с песней Джимми Хендрикса «Third Stone From The Sun». – *Прим. ред.*

Зона жизни – здесь область около звезды, в которой на планетах, имеющих подходящее атмосферное давление, теоретически может существовать жидкая вода, а значит, есть вероятность существования жизни. – *Прим. ред.*