

Нил Шубин

## Вселенная внутри нас: что общего у камней, планет и людей



Посвящается Мишель, Натаниэлю и Ханне

Neil Shubin

The universe Within

Discovering the Common History of Rocks, Planets, and People



Серия “Элементы” основана в 2007 г.

Перевод с английского

канд. хим. наук Татьяны Мосоловой

Издательство АСТ. Москва

Издание осуществлено при поддержке Фонда некоммерческих программ Дмитрия  
Зимина “Династия”

Художественное оформление и макет серии Андрея Бондаренко

© Neil Shubin, 2013

© Т. Мосолова, перевод на русский язык, 2013

© А. Бондаренко, художественное оформление, макет, 2013

© ООО “Издательство АСТ”, 2013

Издательство CORPUS ®

Фонд некоммерческих программ



“Династия” основан в 2002 году Дмитрием Борисовичем Зиминим, почетным президентом компании “Вымпелком”. Приоритетные направления деятельности Фонда – развитие 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).

## Пролог

Значительную часть времени я занимаюсь тем, что разглядываю камни под ногами, и поэтому у меня сложился определенный взгляд на жизнь и на Вселенную. Ответы на интересующие меня вопросы о возникновении живых организмов я ищу в песках пустынь или в арктических льдах. Возможно, кому-то это покажется странным, но примерно тем же занимаются и те мои коллеги, которые вглядываются в свет далеких звезд и галактик, рисуют карты океанического дна или изучают поверхность бесплодных планет Солнечной системы. Объединяют нашу работу некоторые из самых удивительных идей, когда-либо рожденных человечеством – идеи о том, как возникли мы и весь наш мир.

Именно эти идеи вдохновили меня на создание моей первой книги – “Внутренняя рыба” [1 - Рус. пер.: Шубин Н. Внутренняя рыба: история человеческого тела с древнейших времен до наших дней. М.: Астрель: CORPUS, 2010. – Здесь и далее – примечания переводчика.]. В каждом органе, в каждой клетке, в каждом фрагменте ДНК в нашем организме запечатлены следы трех с половиной миллиардов лет истории жизни на Земле. Эта история определила форму наших тел, но ключ к ее разгадке следует искать в отпечатках древних червей на камнях, в ДНК рыб и в гуще водорослей на дне прудов.

Обдумывая первую книгу, я понял, что черви, рыбы и водоросли указывают нам на другие, еще более глубокие связи, уходящие в прошлое на миллиарды лет, когда на Земле еще не существовало никакой жизни. Рождение звезд, движение небесных тел и даже появление дня и ночи оставили следы внутри нас.

За последние 13,7 миллиарда лет в результате Большого взрыва возникла Вселенная, стали появляться и исчезать звезды, образовалась из космической материи наша планета. С тех пор Земля неустанно вращалась вокруг Солнца, а на ней появлялись и исчезали

моря и континенты. Многочисленные открытия прошлого столетия подтвердили многомиллиардную историю Земли, необъятность космоса и скромное положение человека на древе жизни. Все эти новые знания могут вызвать законный вопрос: неужели задача ученых состоит именно в том, чтобы заставлять людей чувствовать себя мелкими, ничтожными созданиями перед бесконечностью пространства и времени?

Но разве, расщепляя крошечные атомы и наблюдая за галактиками, изучая камни на самых высоких вершинах и в самых глубоких океанических впадинах, а также исследуя ДНК всех живущих ныне существ, мы не открываем изумительно прекрасную истину? В каждом из нас живет глубочайшая история всего сущего.

## **Глава 1**

### **И все завертелось**

С высоты птичьего полета я и мой напарник могли бы показаться двумя черными песчинками, застрявшими высоко на склоне среди камней, льда и снега. Подходил к концу наш долгий маршрут, и мы возвращались в лагерь, разбитый на гряде, зажатой между двумя крупнейшими ледовыми щитами планеты. Под ясным северным небом лежало пространство от дрейфующих льдов Арктики на востоке до безграничных ледниковых покровов Гренландии на западе. После продуктивного дня и долгой прогулки мы, увидев эту величественную картину, почувствовали себя на вершине мира.

Однако внезапно состоянию блаженства пришел конец, и все потому, что почва под ногами переменялась. Мы пересекали полосу материковой породы, и бурый песчаник уступил место участку розового известняка, а это, как нам было известно, верный признак того, что поблизости могут найтись окаменелости. Мы уже несколько минут разглядывали валуны, когда я заметил необычный отблеск, исходивший от одного из камней размером с дыню. Опыт работы в полевых условиях научил меня прислушиваться к внутреннему голосу. Мы приехали в Гренландию для охоты за мелкими окаменелостями, и потому я привык разглядывать камни сквозь увеличительное стекло. Это блестела белая крупинка размером не больше кунжутного семечка. Добрых пять минут я разглядывал камень, а потом передал находку Фаришу, моему спутнику, чтобы услышать его авторитетное мнение.

Фариш замер, взглянув в крупинку, а потом посмотрел на меня с восторгом и изумлением. Стащив перчатки, он высоко, метров на пять, подбросил их – и крепко сжал меня в объятиях.

Подобный взрыв эмоций отвлек меня от абсурдности ситуации: бурный восторг вызвала находка зуба размером с песчинку! Но мы нашли то, что искали три года, потратив уйму денег, то, в погоне за чем не раз растягивали себе связки на ногах: недостающее звено между пресмыкающимися и млекопитающими возрастом около двухсот миллионов лет. Конечно, наш проект не сводился к поиску одного-единственного трофея. Этот маленький зуб – лишь одна из ниточек, связывающих нас с древностью. В гренландских скалах заключена часть тех сил, что некогда сформировали наши тела, нашу планету и даже нашу Вселенную.

Отыскать связи с этим древним миром – все равно что обнаружить в оптической иллюзии первоначальный рисунок. Мы ежедневно видим людей, камни и звезды. Но тренируйте глаза – и привычные вещи предстанут перед вами в необычном ракурсе. Если

вы научитесь смотреть на мир, то предметы и звезды станут для вас окном в прошлое – таким огромным, что оно почти не поддается осознанию. В нашем общем далеком прошлом случались страшные катастрофы, и они не могли не отразиться на живых существах.

Как огромный мир может отразиться в маленьком зубе или даже в человеческом теле?

Я начну с рассказа о том, как я и мои коллеги впервые попали на ту горную гряду в Гренландии.

Представьте себе долину, простирающуюся так далеко, насколько хватает глаз. И вы ищите здесь окаменелости размером с точку в конце предложения. Окаменелости и необъятная долина несопоставимы по размерам, но любая долина покажется крошечной в сравнении с поверхностью Земли. Научиться отыскивать следы древней жизни – значит научиться смотреть на камни не как на неподвижные объекты, но как на динамические сущности, часто с историей, насыщенной событиями. Это относится и ко всему нашему миру, и к нашим телам, представляющим собой “моментальный снимок”, запечатлевший определенный момент времени.

За последние полтора века тактика открытия мест для охоты за окаменелостями почти не изменилась. В принципе, здесь нет ничего сложного: следует найти участок, где на поверхности лежат камни интересующего нас возраста, причем такие, в которых с наибольшей вероятностью могут содержаться окаменелости. Чем меньше придется копать, тем лучше. Этот подход, который я описал в своей книге “Внутренняя рыба”, позволил мне и моим коллегам в 2004 году обнаружить остатки рыбы, готовившейся выйти на сушу.

Будучи студентом, в начале 80-х годов я вошел в группу, занимавшуюся разработкой новых методов поиска окаменелостей. В нашу задачу входил поиск самых ранних родственников млекопитающих. Ученые отыскивали ископаемые остатки мелких животных, напоминающих землероек, и их родственников-пресмыкающихся, однако к середине 80-х годов зашли в тупик. Возникшую проблему лучше всего описывает известная шутка: “Каждое найденное недостающее звено создает два новых пробела в ископаемой летописи”. Мои коллеги внесли свой вклад в создание новых пробелов и были вынуждены заполнять их, в том числе разыскивая камни возрастом около двухсот миллионов лет.

Обнаружению новых местонахождений окаменелостей способствовали экономические и политические события: в поисках источников нефти, газа и других полезных ископаемых многие государства стимулировали создание геологических карт. Поэтому практически в любой геологической библиотеке есть журнальные статьи, отчеты и – на что мы всегда очень рассчитываем! – карты территорий, регионов и стран с детальным описанием возраста, структуры и минерального состава пород, выходящих на поверхность. Задача в том, чтобы найти правильную карту.

Профессор Фариш А. Дженкинс-младший возглавлял исследовательскую группу в Музее сравнительной зоологии в Гарварде. Поиск окаменелостей – это его хлеб, точнее, его самого и его команды, и поиск они начали в библиотеке. Ключевую роль в этом исследовании сыграли коллеги Фариша из другой лаборатории – Чак Шафф и Билл Эймерал. Они использовали свой богатый опыт в геологии, чтобы указать потенциальные места нахождения ископаемых, и, что тоже важно, натренировались видеть на земле мелкие окаменелости. Совместная работа Чака и Билла нередко выглядела как долгая дружеская дискуссия: один выдвигал новую гипотезу, а другой с жаром пытался ее

опровергнуть. Если гипотезе удавалось устоять, они выносили ее на суд Фариша, с его логикой и научным чутьем, для вынесения окончательного решения.

Однажды в 1986 году во время такой дискуссии Билл увидел на столе у Чака копию справочника компании “Шелл” по отложениям пермского и триасового периодов. Перелистывая страницы, Билл наткнулся на карту Гренландии с небольшим заштрихованным участком отложений триасового периода на восточном побережье, лежащем на 72-м градусе северной широты, примерно на широте самого северного мыса Аляски. Изучив карту, Билл заявил, что именно с этого места следует начать поиски. Завязалась обычная дискуссия: Чак доказывал, что горные породы здесь не те, а Билл ему возражал.

Счастливым случаем позволил завершить спор тут же, у книжной полки. За несколько недель до этого Чак рылся в библиотечном хламе и выудил из него оттиск статьи “Обзор стратиграфии триасовых отложений Земли Скоресби и Земли Джеймсона в Восточной Гренландии”, написанной датскими геологами в 70-х годах. Мало кто мог тогда себе представить, что это чудом спасенное из макулатуры сочинение определит нашу жизнь на десять лет вперед. Дискуссия закончилась буквально в ту минуту, когда Билл и Чак взглянули на карты в статье.

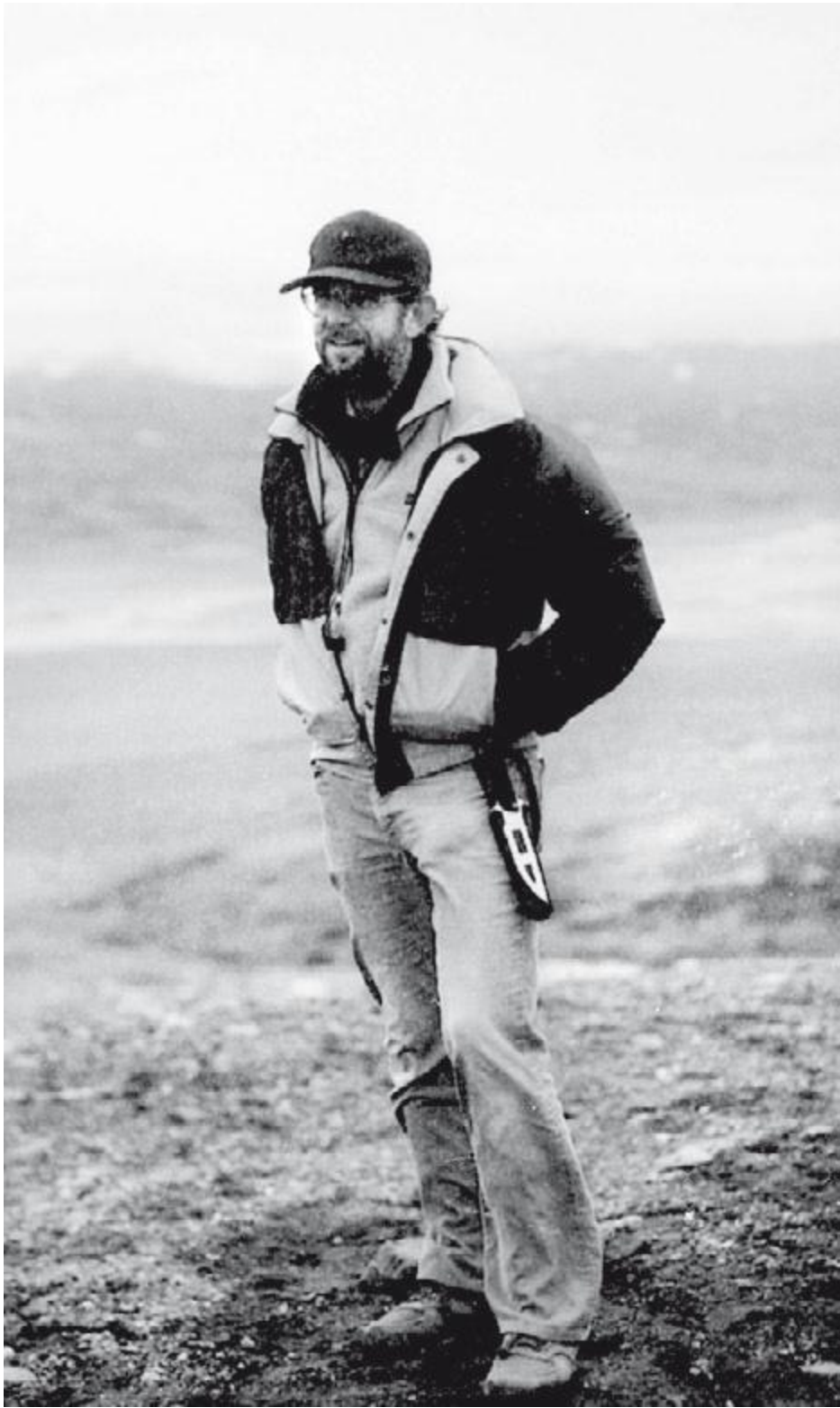
Аспирантская комната находилась чуть дальше по коридору, и, как это частенько случалось, в конце дня я заглянул к Чаку. Билл вертелся тут же, и было ясно, что они только что по обыкновению спорили. Билл сунул мне оттиск статьи. Это было именно то, что мы искали. На восточном побережье Гренландии, напротив Исландии, имелись отложения, в которых встречаются остатки первых млекопитающих, динозавров и другие сокровища.

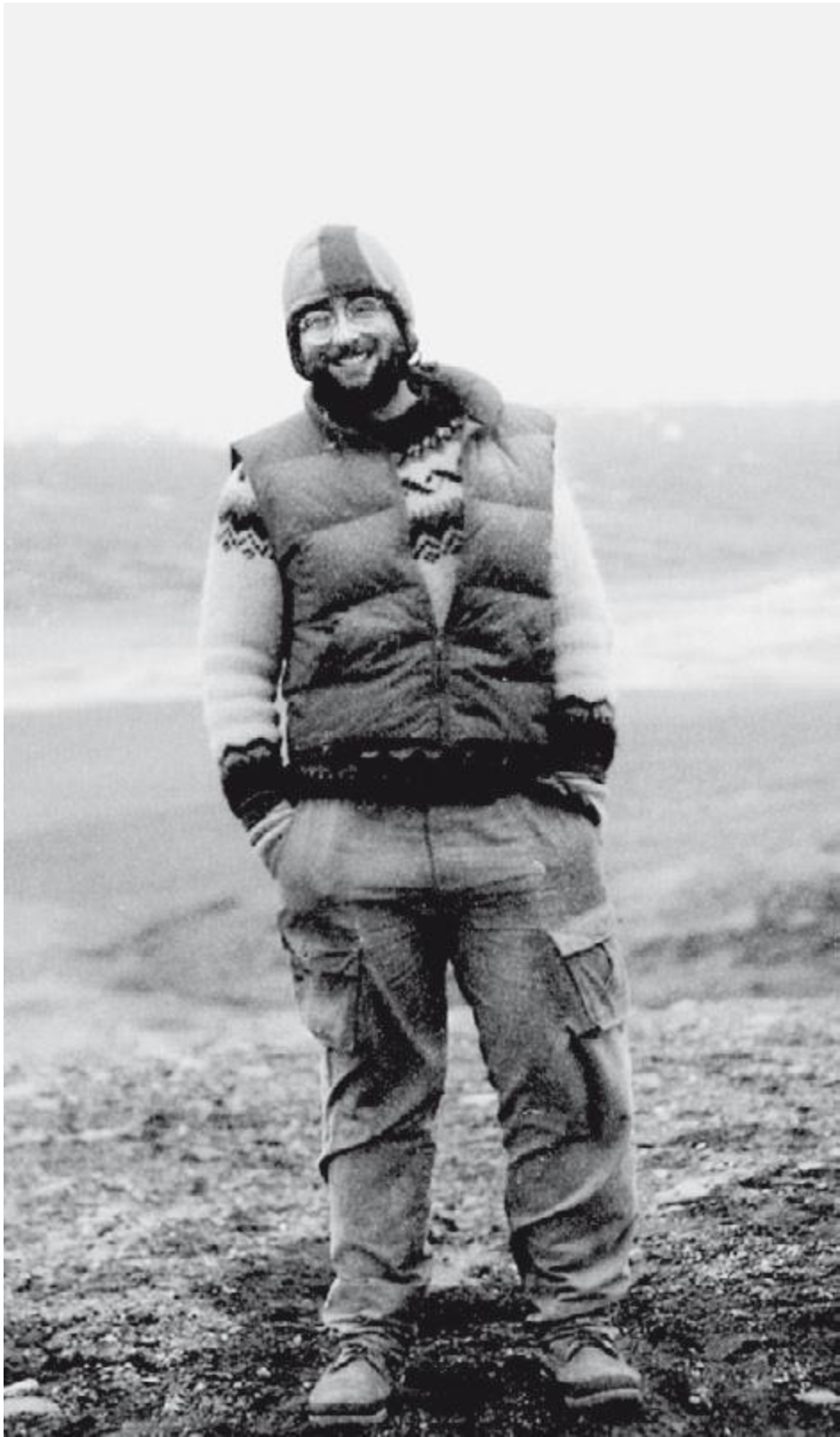
Карты выглядели необычно, даже пугающе. Восточное побережье Гренландии – место удаленное и гористое. Названия местностей связаны с именами путешественников прошлого: Земля Джеймсона, Земля Скоресби, полуостров Вегенера. И некоторые из них, как мне было достоверно известно, именно там и погибли.

К счастью, хлопоты легли на плечи Фариша, Билла и Чака. Имея за плечами в сумме шестьдесят лет полевых работ, они накопили множество знаний о проведении экспедиций в самых разных условиях. Хотя какой опыт мог подготовить нас к предстоящему путешествию? Один опытный руководитель экспедиции сказал мне как-то: ничто не сравнится с первым путешествием в Арктику.

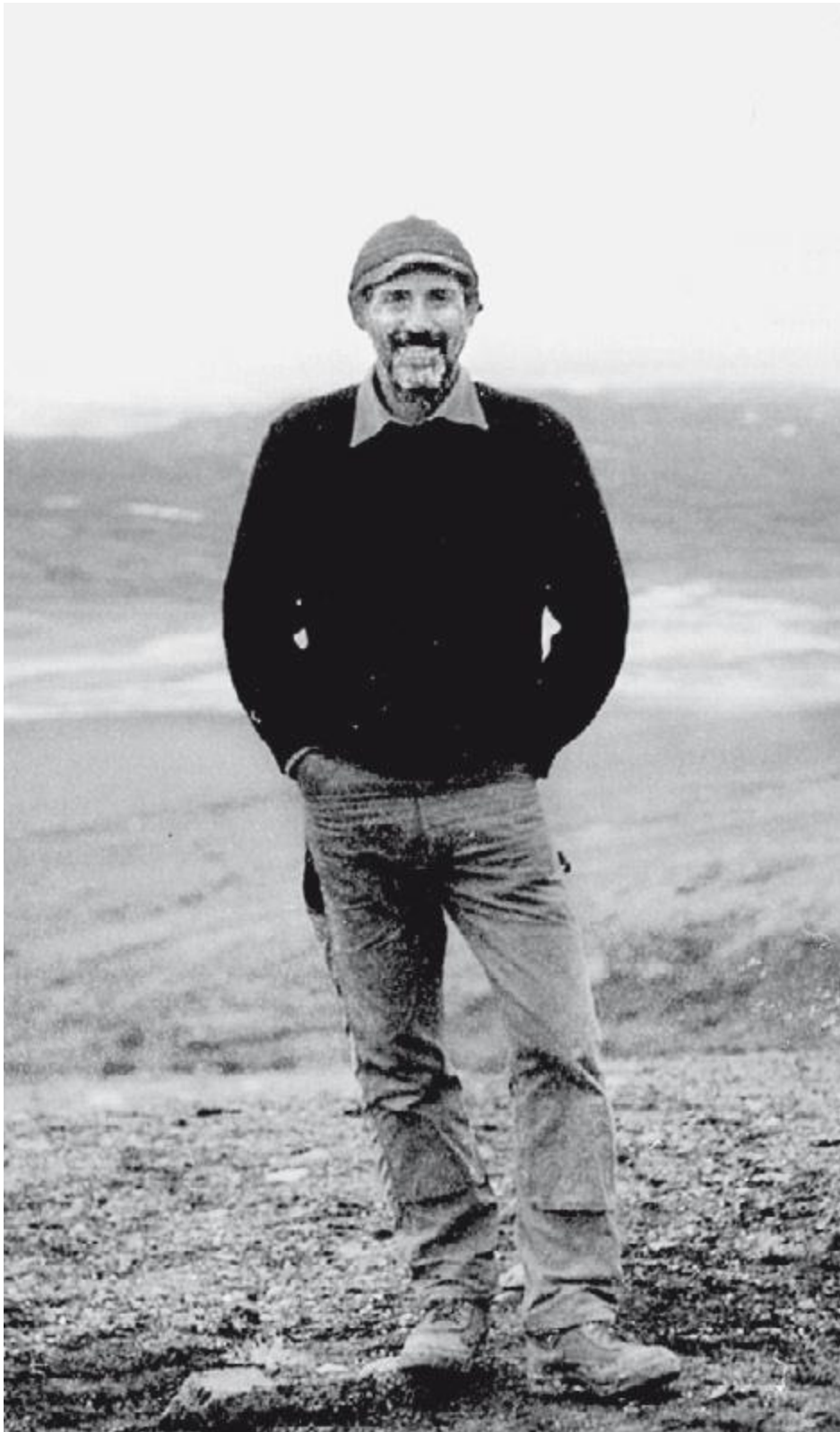












Гренландская команда (по часовой стрелке, начиная с верхнего левого фото): Фариш, военная простота формы; Чак, опытный искатель окаменелостей; Билл, во многом определяющий удачу экспедиции; я, допустивший в тот первый год массу ошибок (взгляните хотя бы на мою шапку).

Во время моей первой экспедиции в Гренландию я многому научился, и это пригодилось мне через одиннадцать лет, когда я затеял собственную экспедицию в Арктику. В тот первый раз я взял с собой в страну слякоти, льда и вечного дня протекающие кожаные

ботинки, маленькую старую палатку и гигантский фонарь, да и вообще допустил столько ошибок, что улыбался только тогда, когда повторял мною же придуманный девиз: “Никогда ничего не делай в первый раз”.

Самый неприятный эпизод той экспедиции был связан с выбором места для лагеря: решение следовало принимать быстро, прямо когда мы осматривали местность с вертолета. Пока работает мотор, деньги, образно говоря, вылетают в трубу: стоимость часа аренды вертолета в Арктике может достигать трех тысяч долларов. С учетом бюджета палеонтологической экспедиции, скорее ориентированного на использование битого пикапа, чем вертолета “Белл-212”, это означает, что нельзя терять ни минуты. Оказавшись над местом, которое при изучении карт в лаборатории казалось нам пригодным для стоянки, мы быстро отмечали важные для нас элементы. Их немало. Нужен сухой, плоский участок, расположенный близко от источника воды, но при этом на некотором расстоянии от моря, чтобы избежать встреч с белыми медведями. Участок должен быть укрыт от ветра и находиться недалеко от выходов горных пород, которые мы собираемся исследовать.

Мы хорошо представляли себе общий план местности, поскольку изучили карты и фотографии, сделанные с воздуха, и потому нашли чудесный небольшой участок тундры в центре широкой долины. Здесь имелись небольшие протоки, из которых можно было брать воду. Место было сухим и ровным, так что мы могли спокойно поставить палатки. К тому же отсюда открывался великолепный вид на гряды заснеженных гор и на ледник у восточной оконечности долины. Но вскоре мы поняли свою главную ошибку: на доступном для пешехода расстоянии не было нужных горных пород.

После того как лагерь был разбит, мы ежедневно отправлялись на поиски камней. Мы взбирались на самые высокие точки местности вокруг лагеря и пытались разглядеть в бинокль хотя бы один из тех скальных выходов, которые буквально бросались в глаза на картах в найденной Биллом и Чаком статье. Мы ориентировались еще и на то, что камни – красноцветный песчаник – должны иметь характерную окраску.

В поисках красных камней мы попарно покидали лагерь: Чак и Фариш взбирались на холмы, чтобы высмотреть красноцветы на юге, а мы с Биллом пытались разглядеть, что находится на севере. На третий день обе команды вернулись с одной и той же новостью. Примерно в десяти километрах к северо-востоку виднелась узкая красноватая полоска. Остаток недели мы обсуждали этот выход и разглядывали его в бинокль. Иногда, при правильном освещении, казалось, что это серия гряд, идеальная для поиска окаменелостей.

Было решено, что мы с Биллом отправимся к камням. Поскольку я не имел никакого представления о том, каковы в Арктике дороги, я выбрал неудачные ботинки, и переход оказался тяжелым испытанием: сначала мы пересекали поля булыжников, потом небольшие ледники... но в основном шли по грязи. Жидкая глина неприлично хлюпала всякий раз, когда мы вытягивали из нее ногу. Мы не оставляли следов.

Три дня мы искали дорогу, но в конце концов смогли найти надежный путь к желанным камням. После четырехчасового перехода красноватая полоска, видимая из лагеря в бинокль, превратилась в череду скал, хребтов и холмов, состоящих из тех самых камней, которые мы искали. Если нам повезет, на поверхности могут найтись окаменелости.

Теперь задача состояла в том, чтобы как можно быстрее вернуться сюда вместе с Фаришем и Чаком, сократив время перехода и сохранив максимум времени для поиска окаменелостей. Возвратившись обратно всей командой, мы с Биллом чувствовали себя

такими гордыми, как будто демонстрировали гостям новый дом. Фариш и Чак, уставшие после перехода, но возбужденные предвкушением поисков, даже не затеяли обычную дискуссию. Они методично сканировали взглядом почву.

Мы с Биллом направились к гряде, расположенной примерно в километре, чтобы посмотреть, что ждет нас дальше к северу. После передышки Билл начал оглядываться в поисках чего-нибудь интересного: наших коллег, медведей или каких-либо других проявлений жизни. Наконец он произнес: “Чак лег”. Взяв бинокль, я действительно увидел Чака, ползающего на четвереньках. Для палеонтолога это означает лишь одно: окаменелости.

Мы быстро зашагали туда. Чак и в самом деле нашел кусочек кости. Однако наш поход в одну сторону длился четыре часа, и теперь мы вынуждены были возвращаться. Фариш, Билл, Чак и я растянулись шеренгой на расстоянии метров десяти друг от друга. Метров через пятьсот я что-то увидел на земле. Это “что-то” отсвечивало знакомым блеском. Опустившись на колени, как Чак час тому назад, я разглядел его во всей красе: чудесный кусок кости размером с кулак. Слева были другие кости, справа – еще и еще. Я окликнул Фариша, Билла и Чака.

Ответа не последовало. Я огляделся и понял, почему: они тоже стояли на четвереньках. Мы оказались на поле, усыпанном обломками костей.

В конце лета мы вернулись в лабораторию с ящиками окаменелостей, которые Билл начал собирать, как объемный пазл.

То были кости существа длиной около шести метров, с рядом плоских листовидных зубов, длинной шеей и маленькой головой. Судя по анатомии конечностей, это был динозавр, хотя и не самый большой.

Динозавры этого типа, прозауроподы, занимают важное место среди палеонтологических находок в Северной Америке. В восточной части континента динозавров раньше находили вдоль рек, автомобильных трасс и железных дорог, то есть в местах, где горные породы оказываются на поверхности. Знаменитый палеонтолог Ричард Сванн Лулл (1867–1957) из Йельского университета обнаружил прозауропода в каменоломнях Манчестера, штат Коннектикут. Правда, каменный блок содержал лишь заднюю часть тела животного. Опечаленный ученый узнал, что блок с передней частью был включен в опору моста в Южном Манчестере. Лулл описал лишь заднюю часть динозавра. Только при разборке моста в 1969 году остальные фрагменты также были освобождены. Кто знает, какие окаменелости скрыты в глубинах Манхэттена? Ведь знаменитые коричневые дома на острове построены из тех же самых камней.

Холмы Гренландии образованы широкими каменными ступенями, которые не только рвут ботинки, но и могут многое рассказать о происхождении камней. Твердые слои песчаника, почти такие же прочные, как бетон, выходят из-под более мягких, хрупких слоев. Практически такие же ступени есть и на юге: слои песчаника, алеврита и сланца протянулись от Северной Каролины и Коннектикута до самой Гренландии. Эти слои содержат характерные разломы, заполненные осадочными породами. Они указывают на места расположения древних озер в глубоких долинах, которые возникали при растрескивании земной коры. Расположение древних разломов, вулканов и озерных отложений в этих слоях почти такое же, как в озерах современной Восточно-Африканской рифтовой долины (Виктория и Малави): движение в недрах Земли привело к расщеплению участков поверхности, а в образовавшихся провалах появились реки и озера. В прошлом такие рифтовые расселины тянулись вдоль побережья Северной

Америки.



В поисках окаменелостей мы следовали вдоль “правильных” горных пород (выделены черным цветом). Успешные поиски в Коннектикуте и Новой Шотландии привели нас в Гренландию.

С самого начала наш план состоял в том, чтобы вести поиски вдоль этих трещин. Знание

того, что в скалах на востоке Северной Америки можно найти остатки динозавров и мелких существ, близких к млекопитающим, позволило нам оценить значение того обнаруженного Чаком оттиска геологической статьи. Это, в свою очередь, привело нас на север Гренландии. Затем, уже в Гренландии, мы продолжали идти вдоль той же нити за находками, подобно голубям, семенящим за крошками хлеба. Эта работа заняла три года, но подсказки, найденные нами в красноцветях, в конце концов привели нас с Фаришем на тот обледеневший хребет.

С вершины гребня наши палатки казались малюсенькими. Наверху шумел ветер, но выступ розового известняка, на котором сидели мы с Фаришем, образовывал укрытие, так что мы спокойно смогли разглядеть находку. Ликование Фариша подтвердило мое подозрение, что белое пятнышко на камне – это действительно зуб млекопитающего. Три бугорка и два корня: именно так он и должен выглядеть.

Ободренные находкой, мы расширили круг поисков в Восточной Гренландии и в последующие годы нашли другие остатки млекопитающих. Это было небольшое, похожее на землеройку животное вдвое меньше домашней мыши. Возможно, это и не был изумительный скелет, заслуживавший особого места в музее, однако же его ценность заключалась в другом.

Это был скелет одного из самых ранних ископаемых существ с нашим типом зубов: их режущая поверхность образована бугорками, смыкающимися при соединении верхних и нижних зубов, а ряд разделен на резцы, клыки и моляры. Ухо животного также напоминает наше и содержит мелкие кости, соединяющие барабанную перепонку с внутренним ухом.

Форма его черепа, плеч и конечностей тоже как у млекопитающих. Вполне вероятно, животное имело шерсть и другие признаки млекопитающих, такие как молочные железы. Когда мы жуем, слышим высокие звуки или поворачиваем кисти рук, мы используем те части скелета, развитие которых можно проследить от приматов и других млекопитающих до исходных структур у этих небольших существ, живших двести миллионов лет назад.

Камни тоже связывают нас с прошлым. Разломы в земле – вроде тех, что привели нас к окаменелым остаткам млекопитающих в Гренландии – оставили свой след и в наших телах. Гренландские горные породы – одна из страниц в громадной библиотеке, в которой хранится история нашего мира. До появления этого маленького зуба мир существовал уже миллиарды лет, и с момента его появления минуло двести миллионов лет. За это время на Земле возникали и исчезали океаны, вздымались и разрушались горы, а на Землю, совершавшую свой путь в Солнечной системе, падали астероиды. В слоях горных пород запечатлены изменения климата, атмосферы и земной коры, происходившие на протяжении миллионов лет. Изменение – это обычный порядок вещей: тела растут и умирают, виды появляются и исчезают, любой элемент и признак нашей планеты и Галактики подвержен как внезапным превращениям, так и постепенным изменениям.

Камни и тела – это “капсулы времени”, несущие в себе отпечаток тех великих событий, которые их сформировали. Молекулы, составляющие наши тела, возникли в результате космических событий на заре Солнечной системы. Изменения атмосферы Земли сформировали наши клетки и весь метаболизм в целом. Изменения орбиты планеты, появление гор и другие революционные сдвиги на самой Земле – все это отразилось в наших телах, в мозге и в нашем восприятии окружающего мира.

Как и жизнь и история наших тел, эта книга строится вдоль временной шкалы. Наш рассказ начинается примерно 13,7 миллиарда лет назад, когда в результате Большого взрыва возникла Вселенная. Затем мы познакомимся с историей нашего скромного уголка Вселенной и увидим, какие последствия образование Солнечной системы, Земли и Луны имело для наших органов, клеток и содержащихся в них генов.

## **Глава 2**

### **Эхо далеких взрывов**

В основном тело состоит из водорода: на каждый атом кобальта, например, приходится почти четыреста миллионов атомов водорода. А по массе в нас содержится так много кислорода и углерода, как ни в одном другом объекте в известной нам Вселенной.

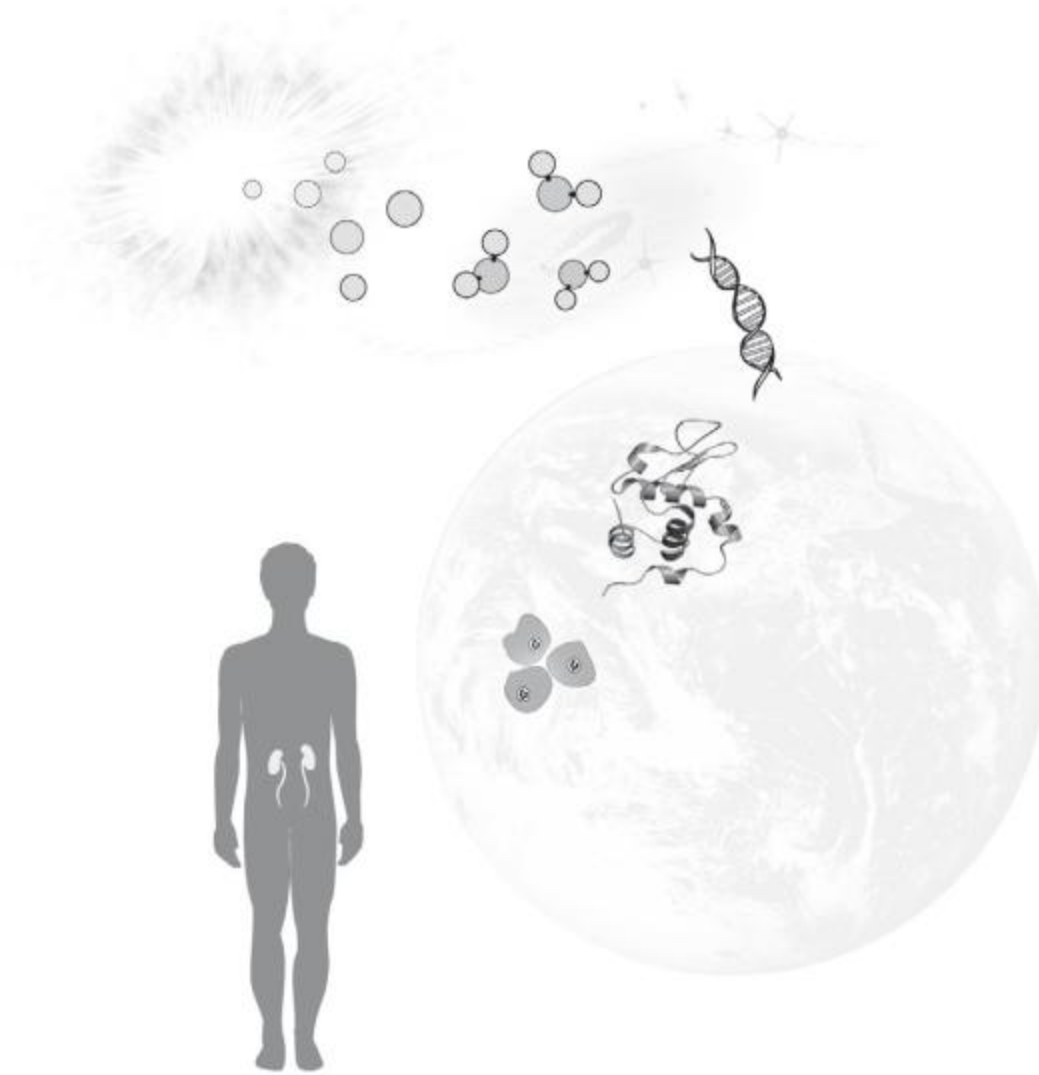
Интересную историю может рассказать элемент, которого в нашем организме нет: гелий – второй после водорода наиболее распространенный элемент во Вселенной. Структура его такова, что он не обменивается электронами с другими атомами. Поэтому гелий не может участвовать в химических реакциях, определяющих жизненно важные процессы в организме живых существ, такие как метаболизм, рост и воспроизводство. Напротив, кислород и углерод, которых во Вселенной примерно в двадцать раз меньше, чем гелия, легко вступают в реакции с другими элементами и образуют разнообразные химические связи, необходимые для существования живой материи. Способность вступать в реакции – обязательный признак элементов в составе тел. Лентяям здесь не место.

Соотношение атомов – лишь один из отличительных признаков нашего тела. Оно организовано подобно матрешкам: мельчайшие частицы составляют атомы, группы атомов образуют молекулы, а молекулы формируют клетки, ткани и органы. На каждом уровне организации возникают новые свойства, так что каждый элемент сложнее суммы составляющих его частей. Можно досконально изучить атомный состав печени, но это не поможет нам понять, как она функционирует. Иерархическое строение, при котором более мелкие элементы составляют более крупные структуры с новыми свойствами, является базовым принципом строения мира и отражает нашу глубочайшую связь со Вселенной, Солнечной системой и Землей.

Откройте современный научный биологический журнал – и с большой вероятностью вы найдете там дерево родственных связей. Любое создание – от человека до чистокровной лошади или элитной коровы герефордской породы – имеет родословную. Изучение родственного древа позволяет понять связь между живыми существами, обнаружить момент возникновения того или иного вида, даже выявить причину выраженной склонности к заболеваниям у некоторых индивидов. Именно по этой причине врачи интересуются семейной историей болезни своих пациентов.

Современной биологии известно, что наша семейная история простирается далеко за пределы нашего вида и включает в себя историю всех других живых существ. Для обнаружения подобных связей требуется сравнительный анализ различных видов.





Наши тела устроены как матрешки: мельчайшие частицы составляют атомы, группы атомов образуют молекулы, а молекулы формируют более сложные структуры.

Порядок возникновения видов отражен в признаках живых существ: близкие родственники имеют больше общих признаков, чем дальние. У коровы больше общих органов и генов с человеком, чем с мухой: волосяной покров, теплая кровь и молочные железы есть у всех млекопитающих и отсутствуют у насекомых. Пока кто-нибудь не обнаружит волосатую муху с молочными железами, будем считать мух дальними родственниками людей и коров. Внесите в этот список рыб – и вы обнаружите, что рыбы связаны с людьми и коровами теснее, чем с мухами. Мы можем утверждать это, поскольку рыбы, как и люди, имеют позвоночник, череп и другие части тела, отсутствующие у мух. Мы можем и дальше следовать этой логике, добавляя в список новые и новые виды и строя семейное дерево, объединяющее людей, рыб, мух и миллионы других видов, обитающих на планете.

Но зачем ограничиваться лишь живыми организмами? Солнце сжигает водород. Другие звезды сжигают кислород и углерод. Основные атомы, из которых состоят наши руки, ноги и мозг, служат топливом для звезд. Но не только атомы наших тел распространяются по всей Вселенной: в космосе обнаружены и молекулы. Составляющие элементы белков и других биологических молекул – аминокислоты и нитраты – приносят на Землю

метеориты, покрывают каменистую поверхность Марса и спутников Юпитера. Если наши химические родственники встречаются на звездах, метеоритах и других небесных телах, значит, ниточки наших древнейших связей с Вселенной уходят куда-то далеко в небо у нас над головой.

Научиться различать детали Вселенной – форму галактик, свойства планет, компоненты двойных звезд – непростая задача. Глаза привыкают к темноте постепенно, и так же постепенно приходит осмысление. Чтобы обнаружить в темноте какой-то рисунок, глаза нужно тренировать. Если вы разглядываете в телескоп или бинокль светящееся скопление звезд, ваше воображение и ожидание начинают создавать миражи. Чтобы их удалить и действительно обнаружить в космосе слабо светящиеся объекты, нужно научиться пользоваться периферическим (боковым) зрением, за которое отвечают наиболее восприимчивые светочувствительные элементы глаза. Это позволяет уловить слабый свет и выделить отдельные объекты. Если вы научитесь правильно смотреть на небо, над головой возникнут цвета, глубины и формы – точно так же, как окаменелости начинают бросаться в глаза на фоне песка.

Научиться различать небесные объекты – лишь первый шаг в усвоении законов неба. Наши отношения со звездами в значительной мере изменились в начале XX столетия благодаря “гарему Пикеринга” (“живым компьютерам Гарварда”). Перед директором Гарвардской обсерватории Эдвардом Чарльзом Пикерингом стояла сложная задача, требовавшая серьезной вычислительной и аналитической работы. В обсерватории накапливались изображения звезд, созвездий и туманностей. Их было так много, что даже регистрация данных и нанесение их на карты были чрезвычайно трудоемкой задачей. Конечно, в те времена еще не существовало мощных вычислительных машин и все расчеты приходилось делать вручную. Пикеринг был чудовищно скуп. Однажды в порыве гнева он заявил сотрудникам, что за полцены наймет для выполнения этой работы свою служанку. Идея понравилась ему самому, и он в самом деле взял на работу в обсерваторию горничную Вильямину Флеминг.

Вильямине Флеминг был двадцать один год, и она воспитывала маленького сына. Муж бросил ее, и она осталась без работы и средств к существованию. Пикеринг сначала доверил ей уборку дома, а затем, после произнесенных во всеуслышание слов, привел в обсерваторию для регистрации новых данных. Получив щедрое пожертвование, Пикеринг смог нанять еще нескольких женщин. Конечно, тогда он не мог предположить, что в его группе вырастут величайшие астрономы того времени (да и любого времени, если уж на то пошло). Работавших у Пикеринга женщин называли “гаремом Пикеринга” или (уже в наши дни) “живыми компьютерами Гарварда”: они работали с сырыми астрономическими данными – фотографиями неба – и определяли их смысл.

Генриетта Ливитт, дочь священника, пришла в обсерваторию в 1895 году. Сначала она трудилась на добровольных началах, а потом стала получать жалование – тридцать центов в час. Она полюбила астрономию еще в школе, и эта любовь помогала ей долгие годы, пока она выполняла скучнейшую работу по составлению каталогов фотопластинок с изображениями звезд и туманностей.



Эдвард Чарльз Пикеринг (в верхнем ряду) и “живые компьютеры Гарварда”. Вильямина Флеминг – третья слева в первом ряду, Генриетта Ливитт стоит справа от Пикеринга.

Ливитт знала, что звезды различаются по цвету и интенсивности свечения. Одни звезды маленькие и бледные, другие яркие и крупные. Тогда не было возможности узнать, как размер звезды связан с ее реальной яркостью, поскольку кажущиеся бледными звезды могут быть большими, но очень далекими, и наоборот.

Ливитт восхищали звезды, которые с регулярностью в несколько дней или месяцев превращались из ярких в тусклые и обратно. Она нанесла на карты семнадцать сотен звезд, указывая все характеристики, которые только смогла определить: яркость, расположение, периодичность изменений яркости. Она обнаружила удивительную закономерность: существовала прямая связь между длительностью циклического колебания яркости и реальной яркостью звезд.

Идея Ливитт выглядела абсолютно мистической, но оказалась очень глубокой. Зная, что свет движется с постоянной скоростью, и зная реальную и видимую яркость звезды, можно рассчитать расстояние от Земли до этой звезды. Таким образом, Генриетта Ливитт придумала способ измерения космических расстояний.

Нужно представлять себе астрономию того времени, чтобы оценить революционную мощь открытия Ливитт. Со времен Галилея и до времен Пикеринга люди смотрели на

небо и все более и более отчетливо видели планеты, звезды и туманности. Но главный вопрос оставался без ответа: как велика Вселенная? Существует ли что-нибудь за пределами нашей Галактики – Млечного Пути?

Как только Ливитт обнародовала свою идею в 1912 году, другие астрономы принялись калибровать небо. Один голландский ученый использовал правило Ливитт для измерения расстояний между звездами. Он получил огромное число: размер галактики превосходит возможности воображения. Затем Эдвин Пауэлл Хаббл, вооружившись идеей Ливитт, с помощью самого мощного телескопа того времени буквально за одну ночь изменил наше представление о Вселенной.

В 1918 году Хаббл, бывший студент-юрист и обладатель стипендии Родса Оксфордского университета, ставший впоследствии астрономом, использовал новый огромный телескоп в обсерватории Маунт-Вильсон, чтобы найти одну из звезд, обнаруженных Ливитт. Это особая звезда: она окружена облаком газа, которое тогда называли туманностью Андромеды. Когда Хаббл применил к этой звезде расчеты Ливитт, у него получился странный результат: звезда и все окружавшее ее облако оказались гораздо дальше всех других известных на тогда объектов. Так стало понятно, что эта группа небесных тел находится гораздо дальше любой самой дальней звезды нашей галактики. Это не облако газа – это другая галактика, находящаяся на расстоянии многих световых лет. Так туманность Андромеды превратилась в галактику Андромеды, а небо над нашими головами сделалось еще шире и еще древнее.

С помощью самого мощного телескопа Хаббл исследовал все объекты, содержавшие переменные звезды Ливитт. Галактика Андромеды и Млечный путь были лишь вершиной айсберга: небо буквально кишело галактиками с миллиардами звезд. Многие светящиеся облака газа, за которыми астрономы следили уже более ста лет, оказались группами звезд, лежащими далеко за пределами нашей галактики. В нашу эпоху, когда люди начали интересоваться возрастом Земли (тогда считалось, что он составляет от десяти до сотни миллионов лет), определение возраста и размера Вселенной показало, что наша планета – лишь крохотная точка в необъятном пространстве, состоящем из бесчисленного множества галактик. И все это потому, что люди научились смотреть на небо по-новому.

Хаббл применил еще один метод изучения небесных объектов. Свет от приближающегося к нам источника кажется скорее синим, а от удаляющегося источника – скорее красным. Этот сдвиг связан с тем, что свет обладает волновыми свойствами: волны, излучаемые приближающимся к нам источником, будут выглядеть более сжатыми (длина волны будет меньше), по сравнению с волнами, излучаемыми удаляющимся источником. Более длинные волны образуют красную часть спектра, более короткие – синюю. Если правило Ливитт позволяло измерять расстояния между небесными объектами, то анализ цветового сдвига позволил оценивать скорость их движения.

Так Хаббл обнаружил удивительную закономерность: галактики излучают свет, смещенный в красную часть спектра. Это могло означать лишь одно – небесные тела удаляются от нас, а Вселенная расширяется. И это расширение не хаотично: все тела рассеиваются из общего центра. Давным-давно вся материя Вселенной находилась в этой центральной точке.

Эта новая идея понравилась далеко не всем. Некоторые эксперты ее просто возненавидели. Появилось множество альтернативных теорий происхождения Вселенной. Сторонник одной из них подшучивал над теорией Хаббла, называя ее теорией “большого взрыва”. Но тогда не существовало прямых доказательств ни у теории Хаббла, ни у

альтернативных теорий.

Доказательства были получены случайно – как побочный результат внедрения новых средств связи. С прорывом в развитии беспроводной связи и с расширением международной торговли и сотрудничества в конце 50-х годов возникла настоятельная потребность научиться передавать через океан радиосигналы и телеизображение. С этой целью НАСА запустила специальный спутник “Эхо-1”. Этот спутник, имевший вид большого блестящего металлического шара, был предназначен для передачи сигналов из одной части земного шара в другие. Проблема заключалась в том, что возвращавшиеся на Землю сигналы часто были слишком слабыми, чтобы их можно было интерпретировать.

Арно Элан Пензиас и Роберт Вудроу Уилсон трудились в “Белл лабораториз” – в те времена это был рай для творчески мыслящих ученых – над параболической антенной, способной уловить самые слабые микроволновые сигналы, отраженные “Эхо-1”. Они потратили много времени, сил и средств, чтобы создать нужную антенну. Однако в 1962 году НАСА запустила “Телстар” – спутник, который не просто отражал радиосигнал, но усиливал его. Для Пензиаса и Уилсона это означало, что в их антенне НАСА больше не нуждается.

Однако у этого события была и хорошая сторона: освобожденные от прежней задачи Пензиас и Уилсон смогли следить за радиосигналами из космоса. Правда, высокая чувствительность антенны, столь важная для решения задач НАСА, превращала работу с ней в сущий кошмар. Она принимала абсолютно все сигналы, даже самые слабые, и все шумы – почти как ненастроенный телевизор.

Попытки ученых устранить шумы напоминали поиски иголки в стоге сена. Сначала они попытались отсеять сигналы радиостанций. Не помогло: помехи сохранялись. Тогда они охладили детектор до  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  – при этой температуре молекулы практически прекращают двигаться. Помехи никуда не делись. Они заглянули внутрь детектора и обнаружили, что внутри его... загадили птицы. Удаление продуктов птичьей жизнедеятельности слегка помогло, но помехи все же остались. Этот фоновый шум продолжался днем и ночью и был примерно в сто раз сильнее ожидаемого.

Тем временем ученые из Принстонского университета с помощью компьютерного моделирования обосновали гипотезу: если Большой взрыв действительно имел место, то в космосе должно было сохраниться некоторое количество энергии (как дым после взрыва). И после 13,7 миллиарда лет охлаждения и расширения Вселенной это реликтовое излучение должно было присутствовать повсюду и иметь определенную длину волны. Это было вполне строгое количественное предсказание, не допускающее неоднозначности. Знакомый показал Пензиасу и Уилсону статью, и они немедленно поняли значение своих статических помех. Фоновый шум не был шумом: это был сигнал. Именно это и предсказывала теория. И за открытие следов Большого взрыва Пензиас и Уилсон в 1978 году были удостоены Нобелевской премии.

Я охочусь за окаменелостями и ищу древние реликвии в земле. Но астрономы – это тоже своего рода палеонтологи. Как заметил Карл Саган, сейчас мы видим свет звезд, бесконечно давно образовавшийся в ходе химических реакций. Бескрайность космоса означает, что попадающий нам в глаза свет реален, однако возник он еще до появления нашего вида и даже до рождения нашей планеты.

Тысячелетиями человек считал себя венцом всего сущего на планете, лежащей в центре Вселенной. Наука изменила этот взгляд. Ливитт, Хаббл и другие раскрыли нам глаза на





сталкивались и распадались, снова и снова, триллионы раз.

На том этапе развития Вселенной существовали частицы двух видов: вещество и антивещество (материя и антиматерия). Эти сущности с противоположными свойствами аннигилируют при контакте. По мере превращения энергии в массу частицы вещества и антивещества сталкивались, едва успев образоваться. Большинство столкновений приводило к полному исчезновению частиц. Но если бы это было только так, ни нас, ни Земли, ни Млечного пути просто не существовало бы. Частицы разрушались бы с той же скоростью, что и возникали. Совсем небольшого (около миллиардной доли процента) преобладания вещества над антивеществом было достаточно для того, чтобы вещество одержало верх. Физик Лоуренс Максвелл Краусс однажды заявил, что все мы являемся прямыми потомками не только наших дедушек и бабушек, но и этого ничтожного перевеса вещества над антивеществом.

Через секунду во Вселенной появились, хоть и ненадолго, частицы, которые мы уже смогли бы опознать. Это был набор субатомных частиц, возникающих на краткий миг в самых мощных атомных ускорителях: лептоны, бозоны, кварки и подобные им.

Через три с небольшим минуты после зарождения Вселенной начала складываться одна из несущих опор мира (а также страх и ужас школьников) – периодическая система. В периодической таблице химические элементы расположены в соответствии с массой их ядра. Таблица того далекого времени чрезвычайно обрадовала бы современных учащихся, поскольку в ней было всего две ячейки, занятые водородом и гелием (возможно, еще существовало немного лития).

Водород и гелий остаются самыми распространенными элементами во Вселенной: водород составляет примерно 90 % материи, гелий – около 5 %. На долю всех остальных элементов, из которых состоим мы и которыми мы обмениваемся со звездами, приходится ничтожные доли процента.

Через триста тысяч лет Вселенная остыла и расширилась настолько, что появились настоящие атомы. Электроны заняли орбиты вокруг ядер. Эта комбинация ядер и электронов стала основой реакций, определяющих каждый момент нашей жизни. Мы живем в мире электронов, обмен которыми происходит за миллионные доли секунды. Я пишу эту книгу, а вы ее читаете за счет энергии, высвобождающейся в результате этого непрерывного обмена. Молекулы в наших телах в ходе различных взаимодействий постоянно обмениваются мельчайшими заряженными частицами. Некоторые перемещения электронов сопровождаются выделением энергии, например реакции с участием кислорода. Другие реакции служат для связывания атомов в молекулы или молекул между собою. Эти процессы определяют связь между атмосферой планеты, ее климатом и метаболизмом всех живых существ. Когда вы едите яблоко, электроны из его атомов через реакции метаболизма проникают в ваши клетки. В яблоко электроны попали из минералов почвы и из воды, пролившейся на землю в виде дождя. Электроны из обоих источников уже бесконечно долго циркулируют в мире. Они возникли задолго до появления нашей планеты, Солнечной системы, даже звезд.

В процессе охлаждения и расширения Вселенной мельчайшие частицы стали образовывать ядра, ядра с электронами образовали атомы, а различные атомы смогли, наконец, вступить во взаимодействие, столь необходимое для формирования более крупных частиц. Постепенно начинала все большую роль играть гравитация.

Примерно миллион лет спустя после Большого взрыва Вселенная остыла и расширилась до такой степени, что начали возникать частицы материи достаточно большого размера, чтобы форма вещей в значительной мере стала определяться силами гравитации. Под влиянием разных сил установился определенный порядок: сила гравитации заставляет тела сближаться, а тепло и более загадочные силы вроде темной энергии вызывают отталкивание. Эта связь определила тот порядок вещей, который мы наблюдаем во Вселенной – от формы облаков газа и звезд до формы галактик и планет. Более того, эта связь объясняет эволюцию самой химии от таблицы с двумя элементами до таблицы с сотней элементов.

Как из двух элементов, существовавших 13,69 миллиарда лет назад, возник мир атомов, из которых сформированы наша планета и наши тела? По мере нашего перемещения по периодической таблице от более легких элементов вроде водорода и гелия к более тяжелым, таким как углерод и кислород, ядра становятся все тяжелее. При определенных условиях два маленьких ядра могут объединиться, образовав одно крупное. Арифметика этого процесса зависит от физических свойств конкретных ядер. В большинстве случаев  $1 + 1$  не равно 2: результат объединения ядер не равен их сумме. Часто новое ядро легче суммы составляющих его ядер, так что при слиянии ядер некоторая часть вещества теряется. Но, как следует из уравнения Эйнштейна, вещество на самом деле не исчезает: оно превращается в энергию. Таким образом, при термоядерных реакциях может образовываться огромное количество энергии.

Люди пытались использовать эту энергию, но в обычных условиях ядра самопроизвольно не сливаются. Нужно затратить много энергии, чтобы запустить такую реакцию. Используя этот принцип, создатель водородной бомбы Эдвард Теллер сконструировал первый термоядерный реактор, соединив аппарат, в котором осуществлялось слияние ядер, с атомной бомбой. Атомная бомба поставляет энергию, выделяющуюся в результате расщепления атомного ядра. Для запуска этой реакции требуется немного энергии. На атолле Эниветок, одном из Маршалловых островов, Теллер и его коллега Станислав Мартин Улам установили систему под кодовым названием “Айви Майк” (Ivy Mike), сопоставимую по размерам с небольшим заводом. В ходе испытаний в ноябре 1952 года энергия взрыва атомной бомбы способствовала слиянию атомов водорода в реакторе, в результате чего последовал мощный взрыв. Теллер следил за происходящим у сейсмографа в подвале геологического факультета Калифорнийского университета в Беркли. После взрыва атолл Эниветок полностью оголился, в его центре образовалась дыра диаметром полтора километра. Фрагменты коралловых рифов разлетелись на расстояние до двадцати пяти километров. Изучая обломки, ученые обнаружили, что энергия взрыва вызвала слияние некоторых крупных ядер, в результате чего возникли новые элементы, прежде не встречавшиеся на планете. Их назвали эйнштейнием и фермием – в честь Эйнштейна и Ферми, идеи которых помогли понять, какая энергия таится внутри атомов.

Термоядерные реакции являются основным источником энергии звезд. Но между небесными телами и бомбой Теллера – Улама существует принципиальное различие: для запуска термоядерной реакции Теллер использовал атомную бомбу, тогда как реакции внутри звезд происходят за счет гравитации.

Доказательства существования этих реакций можно увидеть и сегодня. Если в подходящую погоду, пользуясь боковым зрением, достаточно долго рассматривать созвездие Орион, сконцентрировавшись на трех звездах в его “поясе”, то можно увидеть

размытое светящееся пятно, известное как Большая туманность Ориона. Если навести на него телескоп, туманность приобретет структуру и станет похожей на большое облако с несколькими некрупными звездами внутри. Эта туманность представляет собой огромное облако газа и, примерно как первичная Вселенная, дает начало новым звездам, которых насчитывается около семисот. Конечно, учитывая расстояние от нас до этой туманности, мы смотрим на фотографии новорожденных звезд примерно с тысячелетним опозданием.

В процессе образования звезды облако газа становится все массивнее, и чем больше частиц оно к себе притягивает, тем сильнее в нем гравитационное притяжение. В какой-то момент масса облака газа преодолевает критическое значение, и гравитационное притяжение становится неудержимым процессом, в ходе которого весь газ втягивается в центральную точку. Силы гравитации заставляют сливаться ядра всех элементов. В результате возникают новые комбинации ядер, и вместо ядра с одним протоном образуется более тяжелое ядро с двумя протонами. Однако эти новые ядра легче суммы прежних. В соответствии с уравнением  $E = mc^2$  потерянная масса превращается в огромное количество энергии, выделяющейся в космическое пространство.

Размер и продолжительность жизни любой звезды определяются этими противоположно направленными силами, действующими внутри звезды: сила гравитации затягивает элементы внутрь, а тепло термоядерных реакций заставляет их разъединяться.

Звезду можно сравнить с двигателем, который сначала использует одно топливо, а затем, когда оно заканчивается, переходит на другое. В обычных звездах в результате слияния атомов водорода образуется гелий. Солнце – именно такая звезда. Со временем, когда заканчивается водород и меняются условия, звезда переключается на слияние атомов гелия. Так продолжается и дальше: звезда начинает потреблять гелий, превращая его в более тяжелые элементы. Когда заканчивается гелий, термоядерные реакции начинают поглощать еще более тяжелые атомы, и так далее. В результате образуются кислород, углерод и другие химические элементы. За счет термоядерных реакций внутри звезд периодическая система разрослась от двух атомов до десятков.



Большинство тяжелых элементов в нашем организме возникло в результате термоядерных реакций в звездах.

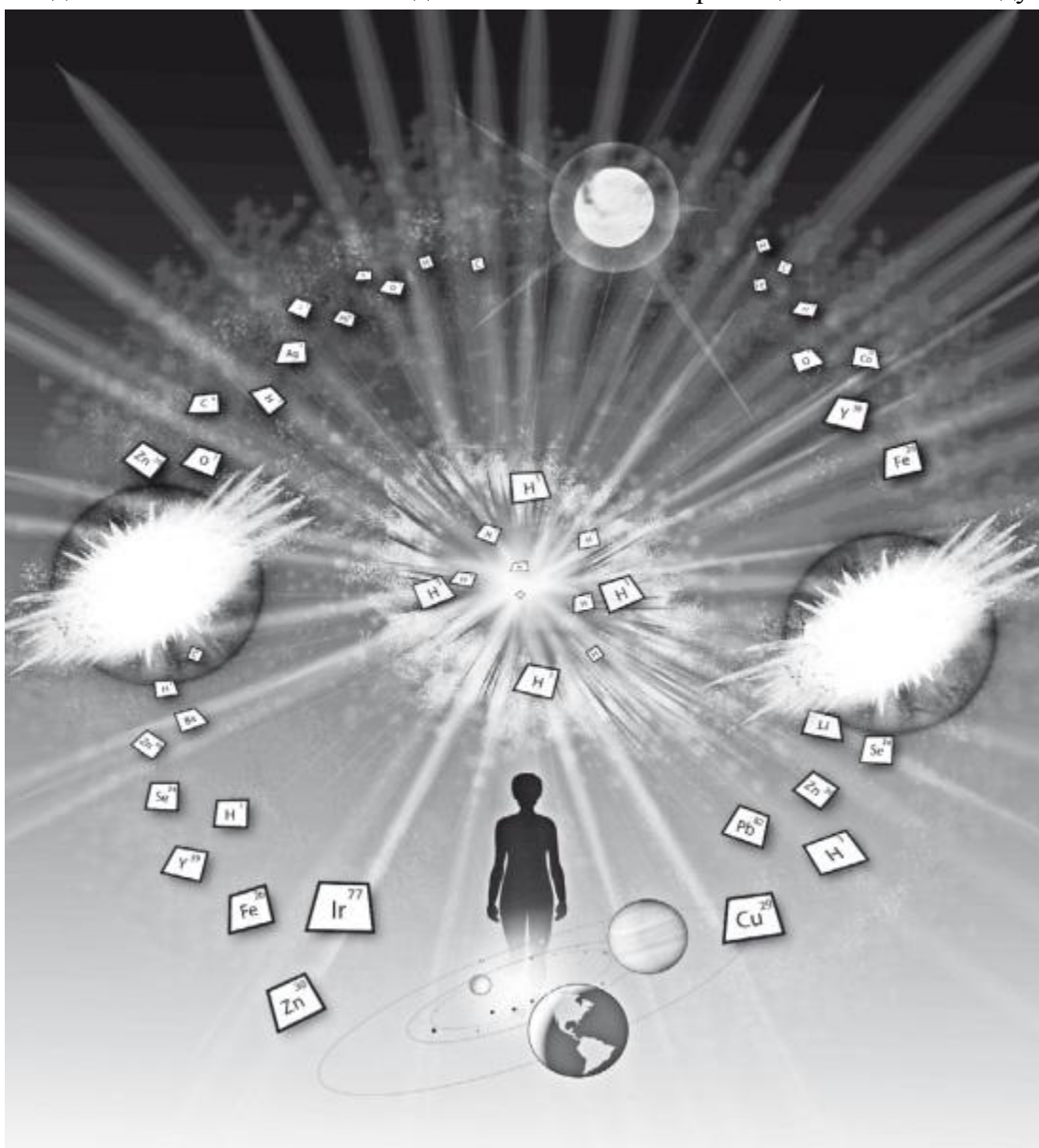
Звезды могут использовать в качестве топлива даже более тяжелые атомы – вплоть до определенного предела, установленного законами физики и химии. Этот пограничный элемент – железо – занимает специфическое место в периодической таблице. Ядра более легких элементов могут сливаться, выделяя огромную энергию. Более тяжелые ядра тоже могут сливаться, но их структура такова, что при этом выделяется значительно меньше энергии. В результате для слияния этих ядер требуется затратить больше энергии, чем выделяется в реакции. Если бы, к примеру, в основе работы ядерного реактора лежало слияние ядер железа, такой реактор давал бы меньше энергии на выходе, чем нужно было бы затратить на его работу.

Это правило неприятно для звезд, зато для нас оно чрезвычайно выгодно. По мере того как звезды потребляют легкие элементы и постепенно продвигаются дальше по периодической таблице, в их центре накапливается железо. По мере расходования топлива и накопления железа термоядерные реакции ослабевают, и звезды начинают излучать

меньше тепла. При определенных условиях ядро железа может поглощать энергию (своеобразное обращение ядерного взрыва). Это может запускать мощную цепную реакцию, заканчивающуюся взрывом, в ходе которого за считанные секунды может выделиться больше энергии, чем звезды вроде нашего Солнца способны выделить за все время своего существования.

Такой взрыв является одним из механизмов образования сверхновых звезд (второй механизм – столкновение звезд). Принцип действия сверхновых звезд напоминает принцип действия устройства Теллера – Улама: энергия одного взрыва запускает термоядерные реакции нового типа. Помните, мы говорили о термоядерных реакциях между элементами тяжелее железа? Сверхновые звезды выделяют так много энергии, что в них эти энергозатратные реакции могут иметь место. Все элементы тяжелее железа, такие как кобальт и цезий в наших телах, происходят из сверхновых звезд.

Для нас это очень важно. Взрывы сверхновых звезд распространяют атомы мертвой звезды по всей галактике. Это один из механизмов перемещения атомов между звездами.



Круговорот элементов во Вселенной. Водород внутри нас образовался в момент Большого взрыва, а другие элементы поступают от звезд и сверхновых звезд. Но однажды элементы, составляющие наше тело, вновь рассеются во Вселенной.

Таким образом, мельчайшие частицы наших тел имеют столь же долгую историю, как сама Вселенная. Вскоре после Большого взрыва возникли атомы водорода, а позднее их рекомбинация начала приводить к образованию более тяжелых элементов, из которых складывались звезды и сверхновые звезды.

В небе, как в лесу, происходит постоянный круговорот веществ. Во Вселенной столько звезд, постоянно производящих и выделяющих химические элементы, из которых могут формироваться новые звезды, что все атомы, достигшие нашей планеты, раньше уже были частью множества разных солнц. Каждая галактика, звезда или живое существо является временным владельцем частиц, прошедших через рождение и смерть множества существ и объектов. Частицы внутри нас миллиарды лет путешествовали по Вселенной и еще долго после нашей смерти и исчезновения Земли будут частицами других миров.

### **Глава 3**

#### **Под счастливой звездой**

//-- 4,6 миллиарда лет --//

С момента Большого взрыва возникло и исчезло множество звезд и галактик. Мы – я имею в виду Солнечную систему – появились сравнительно недавно. Для объяснения происхождения нашего уголка Вселенной требуются неординарные идеи и сложная наука. Шведский философ Эммануил Сведенборг обдумывал этот вопрос всю жизнь. Он родился в 1688 году и большую часть прожитых им восьмидесяти лет считал необходимым обдумывать по одной важной проблеме каждый день. В молодости он был натурфилософом, пытавшимся интуитивно проникнуть в суть вещей. Он, например, логически пришел к заключению о существовании нервов и нервной системы. Обратив свой взор к космосу, Сведенборг предложил теорию происхождения Солнечной системы. Он считал, что Солнце образовалось из облака газа и пыли, сконденсировавшегося в результате коллапса. Когда Солнце обрело форму, часть первичной пыли осталась вращаться вокруг молодой звезды в виде диска из мельчайших частиц. Со временем часть этого облака образовала планеты Солнечной системы. Эта идея не получила развития до тех пор, пока двадцать лет спустя, в 1755 году, философ Иммануил Кант тоже не занялся изучением происхождения Солнечной системы. Созданная им теория очень походила на теорию Сведенборга.

Пьер Симон Лаплас (1749–1827) был одним из величайших математиков всех времен. Некоторые называют его “французским Ньютоном”. Именем Лапласа названы математические и статистические законы: существуют, например, уравнение Лапласа, оператор Лапласа и преобразование Лапласа, которые служат для описания законов электричества, магнетизма и движения тел в пространстве. Его настоящей страстью было изучение порядка во Вселенной – формы планет и орбиты небесных тел. Для описания небесных процессов он преобразовал философские идеи Сведенборга и Канта в математические формулы.

Лаплас предположил, что если облако пыли достигает определенного размера, частицы внутри него начинают взаимодействовать таким образом, что силы гравитации сближают



их, а другие силы расталкивают. Если при определенных условиях силы гравитации побеждают, бесформенное облако пыли может превратиться в крутящийся диск. Со временем силы притяжения между частицами пыли расщепляют диск на несколько концентрических кругов (представьте себе полосатую летающую тарелку). Если масса пыли в этих кругах достаточно велика, частицы могут слипнуться, образуя планеты. Однако столь значительные события, конечно же, происходят не за одну ночь, а за миллионы лет.

Математические расчеты Лапласа способствовали тому, что идеи Сведенборга и Канта из интересных концепций превратились в проверяемые гипотезы. Однако в конце XVIII и в начале XIX века не существовало технических возможностей для создания необходимых измерительных инструментов. По этой причине наши представления о процессе образования Солнечной системы оставались смутными еще более ста лет.

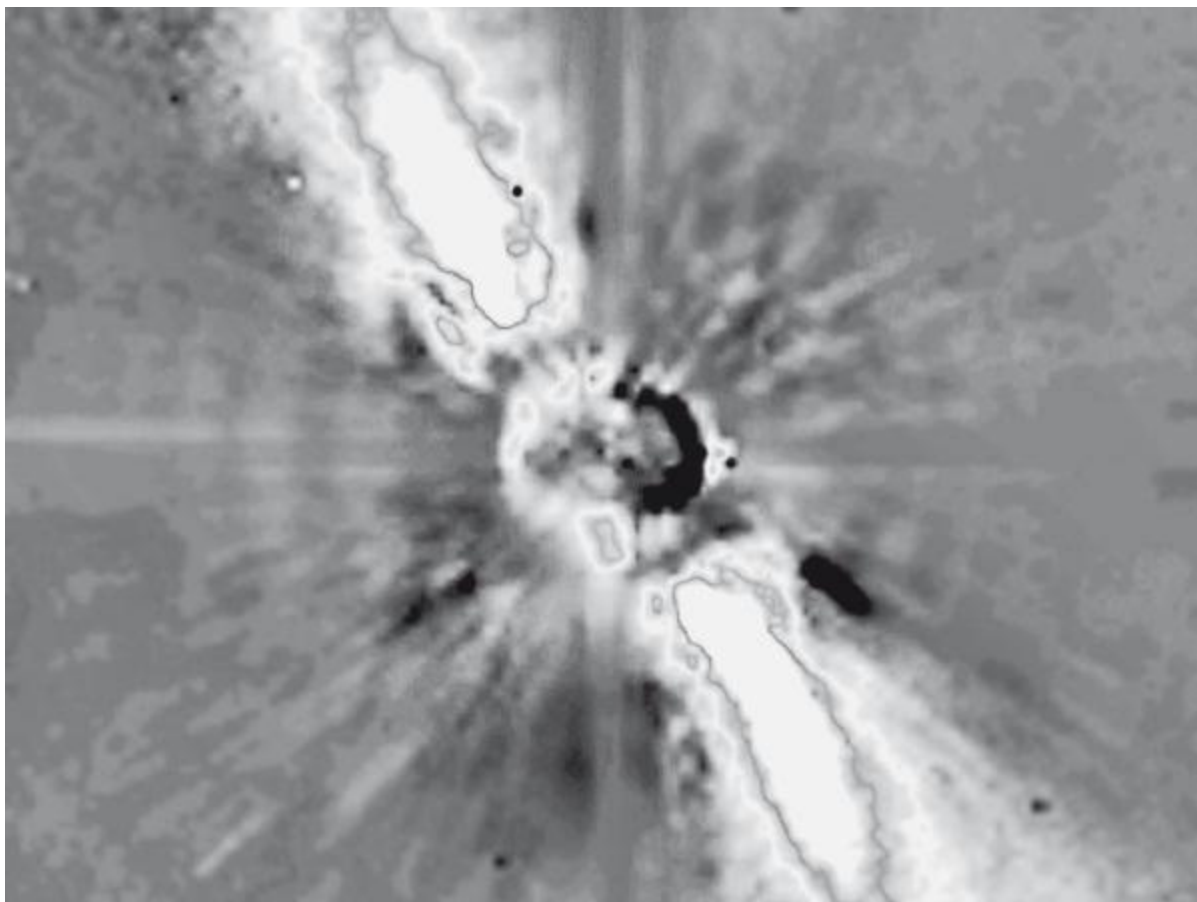
Но, наконец, пришло время большой науки. В 1983 году ученые из Голландии, Англии и США создали спутник, способный двигаться по орбите вокруг Земли и следить за звездами. Этот предшественник космического телескопа “Хаббл” особенно успешно выполнял одну функцию: он измерял инфракрасный спектр всего неба и определял, сколько тепла излучает каждая звезда. За всю свою жизнь звезды излучают самые разные лучи: от видимых, до инфракрасных, ультрафиолетовых и гамма-лучей. Наши глаза способны воспринимать лишь узкий участок спектра из всего диапазона волн, посылаемых звездами, так что для получения максимума информации астрономы вынуждены использовать разные телескопы, каждый из которых настроен на восприятие света с определенной длиной волны.

Инфракрасный сигнал, идущий от далеких объектов, нередко очень слаб, поэтому для его регистрации требуется ликвидировать все источники помех, включая те, что создаются в результате вибрации атомов. Чтобы остановить движение атомов, детекторные устройства телескопа охлаждали жидким гелием до  $-270$  °С. Запаса жидкого гелия на спутнике хватало только на один год, поэтому проект представлял собой своеобразные гонки со временем. Работа была сделана, и ненужный больше спутник просто остался на орбите. Годы спустя группа ученых предложила вновь зарядить спутник гелием, чтобы привести сенсорные устройства в рабочее состояние. Однако из-за недостатка средств и разработки новых технологий спутник так и остался выключенным.

Несмотря на краткосрочность службы детекторов спутника, проект оказался весьма успешным: менее чем за год были составлены карты 96 % неба. Спутник заносил на карту новые астероиды и кометы и вдруг, в начале 1984 года, он зафиксировал вспышку на одной из звезд, сопровождавшуюся таким невероятно мощным выделением тепла, которое никак не соответствовало размеру и типу звезды. Это было неожиданно. Ученые имеют представление о том, сколько тепла выделяют разные звезды, и с этой звездой явно было что-то не так. Источник дополнительного излучения был идентифицирован при детальном изучении фотографий. Звезда была окружена большим облаком пыли, удерживавшим тепло. Эта система, Бета Живописца, стала первым примером солнечной системы, застигнутой в период зарождения. Интуитивное предсказание, облаченное в математические формулы, через двести лет нашло наглядное подтверждение.

Вскоре после своего появления наша Солнечная система напоминала Бету Живописца. В системе царил хаос: вращавшиеся вокруг Солнца фрагменты разного размера сталкивались между собой. Притяжение Солнца способствовало тому, что более тяжелые объекты обосновались на более близких к нему орбитах, более легкие частицы и газ

кружились в отдалении. В определенной степени это положение вещей сохраняется до сих пор: Солнечная система состоит из более плотных внутренних планет (Меркурий, Венера, Земля и Марс) и газообразных внешних (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун).



Бета Живописца. Одно из первых изображений рождающейся солнечной системы.

Что бы мы ни искали – пасхальные яйца, окаменелые кости или новый тип солнечной системы, – часто за одним открытием следуют другие. То, что раньше казалось редкостью, теперь обнаруживается повсеместно, часто прямо у нас перед глазами. За годы, прошедшие после обнаружения пыли в системе Бета Живописца, были запущены новые спутники, построены еще более сильные телескопы и разработаны более мощные компьютеры для обработки поступающей из космоса информации. Эти технические достижения изменили наше представление о мироздании. Солнечная система – далеко не единственная во Вселенной, а лишь одна из многих в нашей галактике. В небе множество других звезд, находящихся на разных стадиях развития и окруженных самыми разнообразными планетами.

Мощные технологии и великие идеи трансформировали наше представление о небесах. Однако определенную роль в этом сыграл случай. В предрассветные часы 8 февраля 1969 года гигантский огненный шар разбудил жителей мексиканского штата Чиуауа. Это был большой метеорит, развалившийся на куски в атмосфере Земли. На место происшествия прибыло множество ученых и коллекционеров. Учитывая масштаб взрыва, коллекционеры рассчитывали на богатый урожай, но они не могли себе даже представить ценности упавшего объекта, пока не пригляделись к нему. Серое тело камня было испещрено мельчайшими белыми точками. Метеориты с такими крапинками были известны и раньше, хотя встречались чрезвычайно редко. Лабораторные исследования

нескольких ранее обнаруженных метеоритов с подобными крапинками позволили определить химический состав первичных камней, составлявших Солнечную систему.

Метеорит развалился. Его фрагменты разлетелись по пустыне на расстояние до сорока километров. В последующие годы было собрано от двадцати до тридцати тонн обломков. Даже сегодня, спустя почти сорок пять лет, иногда находят кусочки метеорита.

Метеорит выбрал удачное время для падения. В 1969 году активно разрабатывался космический проект “Аполлон”. Полет “Аполлона-8”, облетевшего Луну, состоялся за два месяца до падения метеорита. Уже планировался старт следующего “Аполлона”, и лаборатории по всей Америке собирались заняться анализом лунных камней. Теперь, без дополнительных трат для налогоплательщиков, небесные камни шли буквально в руки. Мексиканский метеорит был настолько огромным, что его хватило множеству лабораторий.

Ученые провели стандартный анализ химического состава метеорита. Некоторые минералы были точно такими же, как на Земле, и это говорит об общности истории многих тел в Солнечной системе, как предсказывали Сведенборг, Кант и Лаплас. Возраст минералов можно определять как по часам, ориентируясь на скорость распада атомов. Когда зарождается минерал, его атомы образуют кристаллическую решетку. Однако некоторые атомы, такие как уран или свинец, изменяются с постоянной скоростью согласно физическим и химическим законам. Если известно относительное содержание различных форм атомов в минерале и скорость их превращений, можно рассчитать время формирования минерала (подробнее об этом говорится в разделе “Примечания и дополнительная литература”). Уран-238 очень медленно превращается в свинец-206. Половина исходного вещества претерпевает это превращение лишь за 4,47 миллиарда лет. Благодаря низкой скорости атомных превращений уран и свинец являются идеальными атомами для анализа возраста очень древних минералов. Концентрация урана и свинца в мексиканском метеорите позволила определить время образования Солнечной системы: это случилось 4,67 миллиарда лет назад.

Что происходило тогда на Земле? Непосредственные свидетельства вряд ли удастся обнаружить: для это требуется найти камни, образовавшиеся в процессе охлаждения земной коры и оставшиеся за миллиарды лет в неизменными. Проще всего изучать геологические процессы в местах, где горные породы наслоились друг на друга, как в торте. Наибольший интерес представляют нижние, самые древние, слои. Но чтобы добраться до них, нужно пробурить очень глубокую скважину, а это слишком дорого для обычного геологического исследования. Кроме того, бурение – в определенном смысле выстрел наугад, поскольку невозможно точно сказать, на какой глубине следует проводить анализ. Более простой способ заключается в поиске мест, где древние породы выступают на поверхность. Но проблема в том, что земная кора находится в постоянном движении. В таких динамических условиях слои уходят вглубь, нагреваются и размываются под действием воды и ветра. В идеальных геологических условиях пласты пород сохранялись бы, как слои торта, но в реальности земная кора напоминает торт, который разделили на части, раздавили, а потом сильно нагрели. Теперь представьте себе, что 99,99999 % этого торта выбросили. Так вот, ваше ощущение от поедания оставшегося можно сравнить с тем, что чувствуют геологи, пытающиеся разыскать свидетельства, относящиеся к временам, когда образовалась наша планета.

В некоторых местах на планете возникает ощущение первозданности природы – как будто древний ландшафт был законсервирован. В засушливых, пустынных областях

запада Австралии есть хребет Джек-Хиллс с отвесными скалами желтого и оранжевого цвета, поросшими кустарником. На камнях сохранились рисунки аборигенов, живших здесь десятки тысяч лет назад. Здесь так сухо и жарко, что мелководные заливы расположенной поблизости Акульей бухты стали домом для странных микробных построек, имеющих форму дверной ручки. Эти микробные сообщества одни из самых древних жителей Земли: возраст их ближайших окаменелых родственников составляет свыше двух миллиардов лет. Скальные выступы на суше дополняют эту древнюю картину. Это тоже древние камни. Время сильно изменило их, и эти изменения запечатлелись на их поверхности, как морщины на лице. Эти горные породы являются свидетелями большей части истории нашей планеты.

Они претерпели множество изменений. Им пришлось пережить все мыслимые и немыслимые мучения – образование внутри горячей магмы, сильнейшее давление при погружении в глубины Земли и, наконец, огромное напряжение при выходе на поверхность. Каждый момент истории запечатлен в этих камнях. Задача в том, чтобы научиться правильно их читать.

Любой камень на Земле является свидетелем истории, и если его “прочитать”, он становится летописью и своеобразным термостатом или барометром, отражающим состояние нашей планеты. Чтобы вырвать эту историю у камней, мы должны рассмотреть их в самом разном приближении – и с высоты птичьего полета, и под микроскопом. Мельчайшие частички камней – отдельные крупинки песка или минералов – рассказывают интереснейшие истории. Одна из таких крупинок, циркон, обладает уникальными свойствами. Циркон практически невозможно разрушить, он может пережить сильнейшее нагревание, высокое давление, эрозию и буквально любую другую возможную муку.

Из крупных, чистых кристаллов циркона получают отличные поддельные бриллианты. Но для тех, кого интересует происхождение нашей планеты, циркон намного ценнее драгоценных камней, поскольку благодаря своей прочности он служит замечательным окошком в прошлое. Горы, в которых есть циркон, появляются и исчезают, но сам циркон не изменяется (почти) никогда. Судя по содержанию урана и свинца, возраст циркона в камнях с хребта Джек-Хиллс составляет 4–4,4 миллиарда лет.

Химический состав циркона указывает не только на возраст Земли. Обилие различных форм кислорода в этом кристалле можно объяснить исключительно контактом зарождавшейся горной породы с водой.

Солнечная система начала зарождаться более 4,6 миллиарда лет назад, а уже 4,1 миллиарда лет назад на нашей планете появилась вода.

## **Голубые брызги**

Мы с вами живем на голубой планете – единственной известной пока планете с большим запасом жидкой воды. Внутри нас тоже есть океан. Тело взрослого человека примерно на 57 % состоит из воды. С годами мы высыхаем, поскольку тело новорожденного ребенка содержит около 75 % воды. Большая часть воды в организме сосредоточена не в крови, а заключена в клетках мышц, головного мозга и сердца. Метаболизм пищи и кислорода зависит от воды, как и рост и взаимодействие наших клеток. Даже воспроизводство, зависящее от подвижности яйцеклеток и сперматозоидов,

требует наличия жидкой среды. Фактически любая реакция в организме в той или иной степени нуждается в участии воды.

Но не только это связывает нас с водой: в наших телах заключена история самой воды. Первые 2,7 миллиарда лет жизнь развивалась исключительно в воде, и это отразилось на всех системах нашего организма. Многие отделы нашей головы развиваются из серии вздутий, которые затем превращаются в костичелюстей, ушей и гортани, а также в обслуживающие их мышцы, нервы и артерии. Эквивалентные структуры обнаружены у всех существ, имеющих голову, включая рыб. У таких животных кости переходят в структуры, определяющие форму и функцию жабр. В определенном смысле мышцы, нервы и кости, с помощью которых мы говорим, жуем и слышим, соответствуют жаберным структурам наших предшественников – рыб. Эта глубокая связь отразилась и в окаменелостях, по которым можно проследить превращение жаберных костей в структуры нашей головы, включая кости уха.

Итак, большую часть своей истории мы провели под водой – вплоть до выхода на сушу около трехсот миллионов лет назад. Это обстоятельство способствовало появлению специфической функции почек, заключающейся в поддержании баланса воды и соли. Репродукция у наземных животных тоже меньше зависит от воды, чем у водных: оплодотворение происходит внутри тела, а развивающийся плод отделен от внешнего мира мембранами и сосудами, защищающими его и связывающими с организмом матери. Наши руки и ноги, адаптированные к жизни на суше, представляют собой модифицированные плавники рыб. Наше существование на суше обеспечивают те же органы, которые позволяют рыбам жить в воде.

Почки человека и других млекопитающих – великолепная адаптация для жизни на суше. Почки с особым строением помогают сумчатым крысам и антилопам жить в безводных пустынях, пользуясь только той водой, которая содержится в пище. Но даже в этом самом специализированном органе наземных животных прослеживается водное происхождение. Все бесчелюстные рыбы, с которыми мы разошлись от последнего общего предшественника около полумиллиарда лет назад, имеют очень примитивные почки. Эта специализированная ткань, тянущаяся вдоль всего тела, отделяет жидкие отходы метаболизма из кровотока прямо во внутреннюю полость, откуда они выводятся наружу через отверстие в задней части тела. Костные рыбы, с которыми мы разошлись от общего предка четыреста пятьдесят миллионов лет назад, имеют уже более оформленную структуру: этот сгусток ткани связан со специализированной системой, через которую выводятся жидкие отходы. В своем новейшем варианте, как в организме млекопитающих, система фильтрации расположена не вдоль всего тела, а только в нижней части спины.

В процессе внутриутробного развития наши почки последовательно проходят три стадии превращения. На первой стадии это специализированная ткань, протянувшаяся вдоль всего тела и открывающаяся в полость тела, практически как у бесчелюстных рыб. На второй стадии эта система приобретает такой же вид, как у костных рыб: локализуется вдоль спины и соединена со специальной выводящей системой. Взрослая форма, сменяющая две предыдущие, формируется в конце первого триместра беременности. Таким образом, в процессе внутриутробного развития мы повторяем историю наших древних предков, обитавших в воде.

Наша связь с водой неслучайна. Молекула воды отличается особыми свойствами.

Она состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода и напоминает голову Микки Мауса: крупный атом кислорода – голова, а более мелкие атомы водорода сверху – уши. Отрицательный заряд сконцентрирован на атоме кислорода, а положительный – на стороне водорода. Такое строение воды объясняет хорошую растворимость в ней самых разных веществ. Соли, белки, аминокислоты – в воде растворяется такое множество соединений, что это обеспечивает возможность протекания жизненно важных реакций. Нам больше не требуется водная среда вокруг нас, но наша жизнедеятельность неизменно связана с наличием водной среды внутри организма.



Сравнительное содержание различных форм воды на планете.

Вода имеет еще одно свойство, которое легко обнаружить на кухне: она может находиться в твердом, жидком и газообразном состоянии, причем эти переходы осуществляются в достаточно узком интервале температур. Наша жизнь еще и потому так тесно связана с водой, что она присутствует на планете в твердом (лед), газообразном (водяной пар) и жидком состоянии, обеспечивающем протекание всех процессов в живых организмах. Более 97 % воды на планете содержится в океанах, а остальная вода распределена между облаками, льдом и источниками пресной воды, причем каждая форма в нашей жизни чрезвычайно важна.

Вода является незаменимой средой не только для химических процессов в нашем организме, но и для метаболизма всей планеты. Вода в виде дождя и вода от таяния льда и снега вызывает эрозию гор и почвы, в результате чего минералы возвращаются в море. Это постепенное выветривание уравнивает процесс формирования новых гор. Находящиеся в воздухе молекулы, многие из которых оказывают значительное влияние на климат и состояние атмосферы, находятся в постоянном круговороте между горными породами и морем, и круговорот этот осуществляется водой. Вода поддерживает связи, необходимые для существования жизни на Земле.

Вода внутри наших тел и в океане многое может рассказать о своем происхождении. Поскольку вода состоит из двух частей водорода и одной части кислорода, можно считать, что две части атомных ядер в ее составе возникли в результате Большого взрыва, а одна часть – в результате термоядерных реакций внутри звезд. Но, хотя история атомов, составляющих молекулу воды, является общей для Вселенной, история молекул воды



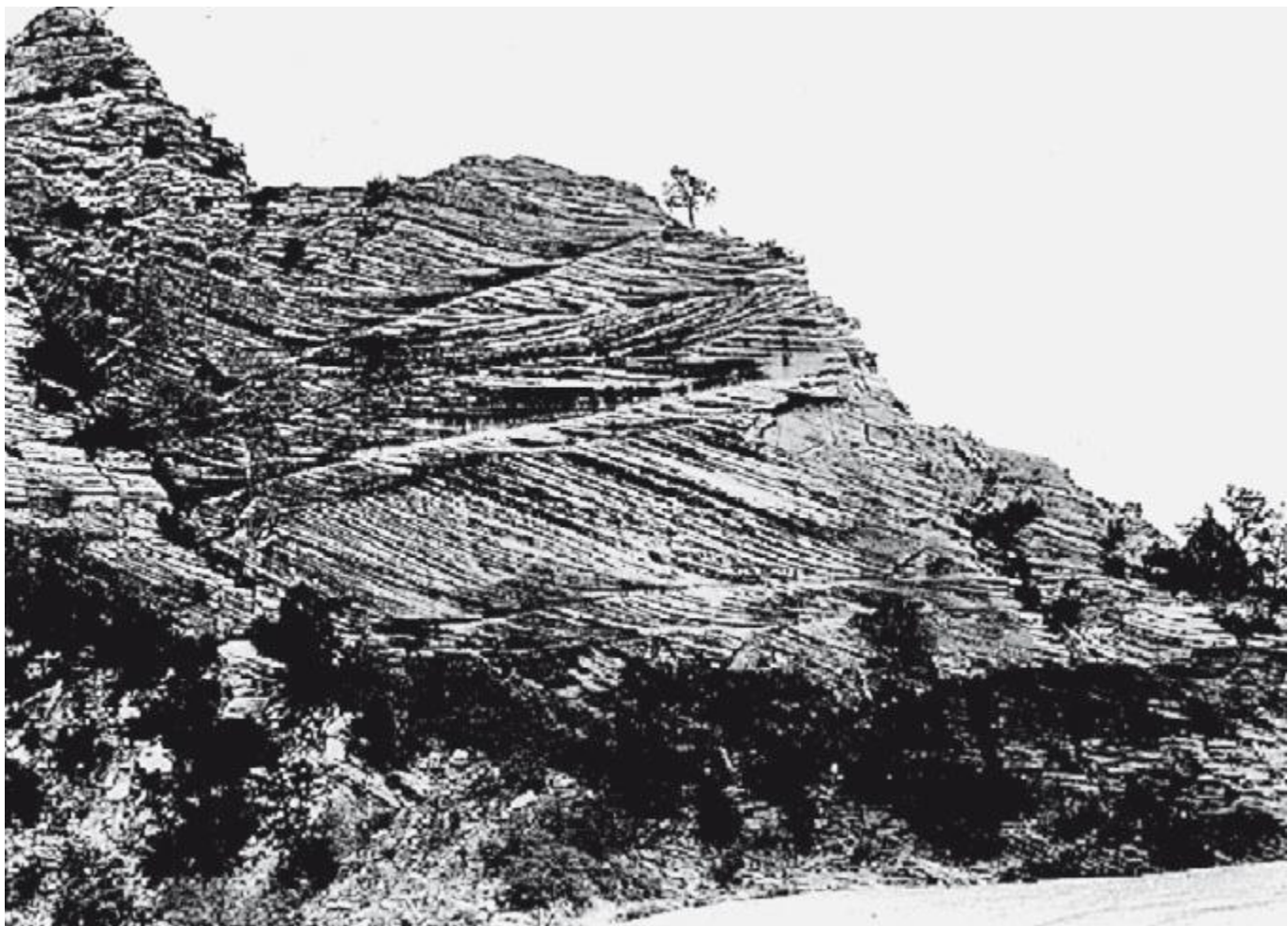
связана с Солнечной системой. Химическая структура молекул воды на Земле (в частности, содержание в ней различных изотопов водорода) отличается от структуры молекул воды в составе льда на кометах, астероидах, на других планетах. Анализ льда с кометы Хейла – Боппа, едва не столкнувшейся с Землей в 1997 году, показал, что состав этой воды отличается от состава земной воды. У многих это открытие вызвало сильное разочарование, поскольку в то время считалось, что источником воды на Земле были именно кометы. Сторонники этой гипотезы вновь восторжествовали в 2011 году, когда новые зонды, посланные на другие кометы, такие как Хартли-2, обнаружили явное сходство изотопного состава воды на кометах и в земных океанах. Но история воды не связана исключительно с кометами: чем пристальнее мы рассматриваем Солнечную систему, тем больше воды мы находим. Более мощные телескопы и новые спутники позволили обнаружить воду на Луне и на астероидах. Следы воды обнаружены и в еще более неожиданных местах. Ближайшая к Солнцу планета Солнечной системы – Меркурий. Температура здесь достигает 400 °С (этого достаточно, например, чтобы расплавить свинец). Искусственный спутник Меркурия “Мессенджер”, выведенный в 2004 году на орбиту планеты специалистами НАСА, прислал фотографии глубоких кратеров на полюсах Меркурия. Так вот, по своим отражающим свойствам структура вещества в этих кратерах соответствует структуре льда. Вода могла сохраниться здесь по той причине, что в кратерах, скрытых от солнечных лучей на планете без атмосферы, скорее всего, очень холодно. Такое обилие воды в Солнечной системе может говорить о том, что вода прибыла на Землю из космоса. Кроме того, определенное количество воды на Земле могло выделиться из минералов в процессе образования планеты. При очень сильном нагревании (а именно такие условия, скорее всего, были на Земле четыре с половиной миллиарда лет назад) минералы могут высвобождать связанные молекулы воды. В любом случае, принесли ли воду кометы или она выделилась из камней при формировании Солнечной системы, каждый стакан выпиваемой нами воды происходит из источника столь же древнего, как сама Солнечная система. И, как рассказывает нам циркон, жидкая вода на нашей планете существует уже не менее четырех миллиардов лет. Наша история складывалась под влиянием воды, наше существование возможно благодаря воде, и наше будущее, с большой вероятностью, тоже будет зависеть от воды.

### **Близнецы-уродцы**

После изматывающей трехдневной конференции в Калифорнии я развалился на диване в гостиничном холле, ожидая автобуса в аэропорт. Напротив расположился знаменитый ученый. Часть его лица скрывала от меня крышка его ноутбука. Мое внимание привлекло выражение его лица. Он глядел на экран, то смеялся, то недоверчиво качая головой. Мне стало неудобно оттого, что я слежу за ним, так что я отвел взгляд. Заметив мое смущение, сосед кивнул мне головой, пригласив взглянуть на экран. На экране я увидел скалу с хорошо знакомым мне рисунком поверхности. Характер расположения слоев говорил о том, что эти породы сформировались в древних дюнах. Я много раз видел такой рисунок, когда отправлялся на поиски окаменелостей в Канаду или в Африку, и несколько раз даже находил окаменелости в таких породах. Скала манила к себе. Палеонтологи любят этот тип камней. Но эти фотографии были сделаны не на Земле, а на Марсе. Мой коллега входил в состав группы ученых, занимавшихся анализом изображений, присланных

марсоходом “Спирит”. Эти фотографии были присланы на Землю накануне.

В фильме “Близнецы” (1988) Арнольд Шварценеггер исполняет роль супермена, отправляющегося на поиски давно потерянного брата. В конце концов он находит брата-близнеца (его играет Денни Де Вито) – невзрачного, не обладающего никакими талантами человека с криминальным прошлым. Они родились от одной матери, но судьба одного многим одарила, а другого оставила ни с чем. Увидев брата, персонаж Шварценеггера многое начинает понимать о самом себе. Точно так же мы многое можем узнать о нашей планете и о нас самих, если внимательно приглядимся к нашим соседям по Солнечной системе – Венере, Марсу и Юпитеру. В прошлом мы – персонаж Шварценеггера, в будущем – Де Вито.





Фотографии песчаников американского Запада (слева) и Марса (справа).

Много тысяч лет люди смотрели на небо в надежде узнать что-то о жизни, времени и нашем месте во Вселенной. Телескопы помогли нам приблизить дальние объекты и обнаружить спутники далеких планет и каналы на Марсе. В последние сорок лет мы запустили сотню ракет к Луне, астероидам и другим планетам и их спутникам и даже в более далекие миры, находящиеся за пределами гравитационного притяжения нашего Солнца. “Аполлон-8” позволил людям впервые вырваться из гравитационного поля Земли и войти в поле другого небесного объекта. Облетая вокруг Луны в канун Рождества 1968 года, Уильям Андерс увидел восход Земли над Луной. Через двадцать пять лет беспилотный космический корабль “Вояджер” начал выходить из Солнечной системы, вырвавшись из гравитационного поля нашего Солнца и погрузившись в глубины космического пространства. Инженеры настроили камеры таким образом, чтобы можно было увидеть Землю. Голубой оазис воды и воздуха, единственный среди известных нам обитаемых миров, был маленьким шариком для “Аполлона-8” и едва заметной точкой для “Вояджера”.

Еще до начала реализации проекта “Аполлон” исследования Венеры в значительной степени изменили представление о нашем месте во Вселенной. Эта яркая планета похожа на сферу, но если вам представится возможность, взгляните на нее в бинокль или телескоп. Вы увидите то, за что чуть не казнили Галилео Галилея, когда он в 1610 году впервые описал свои наблюдения. Венера, подобно нашей Луне, проходит от фазы

полумесяца к целому диску, и обратно. На основании этих наблюдений Галилей доказал, что планеты, включая нашу, вращаются вокруг Солнца, а не наоборот.

Венера по размеру напоминает Землю и располагается ближе к Солнцу. Долгое время считалось, что она больше всего похожа на Землю, и именно по этой причине первые межпланетные аппараты ученые направляли именно сюда в надежде найти жизнь. Некоторые даже полагали, что когда мы спустимся на планету, мы найдем тропический мир, напоминающий тот, что был на Земле в эпоху динозавров.

Первые подозрения о том, что на Венере происходит что-то странное, возникли в 30-х годах, когда был создан телескоп нового типа. Этот телескоп, установленный в обсерватории Маунт-Вильсон в Калифорнии, не измерял интенсивность света, а выдавал электромагнитный спектр излучения. Этот спектр указывал на то, что атмосфера Венеры на 99 % состояла из диоксида углерода.

В 1962 году Венере повезло – именно сюда земляне решили отправить первый межпланетный корабль в рамках проекта “Маринер”. Это было очень серьезное предприятие. Взлет космического корабля опасен и сегодня, а уж в 1962 году тем более. Старт корабля “Маринер-1” с самого начала пошел не так, как было задумано, так что пришлось в аварийном порядке взорвать корабль, чтобы избежать катастрофы, которая могла бы погубить города на побережье Флориды. Следующая ракета, “Маринер-2”, могла нести не более пятнадцати килограммов инструментов для всех научных исследований. После удачного старта путь “Маринера-2” к Венере продолжался около трех с половиной месяцев. Те немногие инструменты, которые перенес корабль, позволили сделать чрезвычайно важные открытия. Выяснилось, что на Венере плавится даже свинец: температура на ее поверхности составляет около 480 °С. Давление на поверхности планеты в девяносто раз превосходит давление на Земле. Чтобы почувствовать, что это такое, нужно опуститься под воду на глубину около километра. Кроме того, анализы подтвердили, что атмосфера планеты практически полностью состоит из углекислого газа. “Маринер-2” обнаружил, что наша ближайшая родственница, по размеру почти наш близнец, больше напоминает ад.

Почему планеты-близнецы так сильно различаются? Отчасти ответить на этот вопрос помогли новые исследования. В 60-х годах, пока НАСА осваивала Луну, в Советском Союзе конструировали машины для отправки на Венеру. Попасть на Венеру и собрать о ней какие-либо данные – сложнейшая задача. Чтобы аппарат смог оторваться от Земли, он должен быть легким, но в этом-то и сложность: гигантское давление на Венере оставляет очень мало времени на сбор данных: вскоре после посадки аппарат будет раздавлен, как жестяная банка при игре в футбол. Неудивительно, что история первых запусков – сплошная история катастроф. “Венера-1” потеряла контакт с Землей еще в полете, а “Венера-2” – при посадке на Венеру. “Венера-3” разбилась при посадке. “Венера-4” вошла в атмосферу Венеры, послала несколько сигналов и исчезла. Но настойчивость вознаграждается. “Венера-9”, запущенная через четырнадцать лет после “Венеры-1”, опустилась на Венеру и послала на Землю первые черно-белые фотографии. Следующие аппараты высаживались на планету и производили анализ почвы и атмосферы. Что они обнаружили? На Венере бывают гром и молния. На Венере есть магматические горы, очень напоминающие земные. Конечно, Венера очень горячая, на ней высокое давление и ее атмосфера заполнена углекислым газом, но она удивительно похожа на нашу родную планету.

Затем, в 1978 году НАСА запустила космический корабль “Пионер”. Это была



миниатюрная научная лаборатория, способная, кроме прочего, определять состав облаков и атмосферы. Когда “Пионер” погрузился в облака Венеры, одно из устройств зафиксировало присутствие серной кислоты. Затем это устройство проанализировало атомный состав серной кислоты, в частности, изотопный состав атомов водорода. Соотношение атомов водорода в веществе зависит от наличия жидкой воды. И тут ученых ждал сюрприз: сегодня Венера твердая и сухая, как камень, но когда-то здесь были океаны.

Венера и Земля родились как близнецы, но судьба их сложилась по-разному. Венера потеряла воду, а Земля ее сохранила: Венера находится слишком близко к Солнцу, чтобы жидкая вода могла здесь задержаться. Именно исчезновение воды может объяснить многие различия двух планет. На Земле вода облегчает удаление углекислого газа из атмосферы через сложную цепочку химических взаимодействий. На Венере такие реакции невозможны. Венера напоминает закрытую емкость, наполненную газом: вулканы выбрасывают углекислый газ, и удалить его нет никакой возможности, так что со временем давление только нарастает. С увеличением давления поднимается и температура. И этот парниковый эффект на Венере возник в результате исчезновения воды.

Другой наш сосед по Солнечной системе, Марс, рассказывает иную историю. Мы пока еще не обнаружили здесь действующих вулканов, извергающих лаву, и не зафиксировали движений коры. Но вид каньонов и каналов планеты свидетельствует о том, что они были сформированы под действием воды. Над поверхностью возвышаются застывшие вулканы. Если здесь когда-то была вода, то температура должна была быть примерно такой же, как у нас на Земле. Поверхности, все еще хранящие следы воды, изменились со временем и рассказывают о падении множества больших и малых метеоритов, произошедших здесь миллиарды лет назад. Недавно проведенные исследования показали сезонное присутствие жидкой воды на планете, но ее количество несравнимо с тем, что когда-то сформировало глубокие каньоны. Активная геологическая жизнь Марса осталась в далеком прошлом.

Многие различия между Венерой и Марсом объясняются тепловым балансом. Венера потеряла воду, поскольку располагается слишком близко к Солнцу: вода испарилась, и цепная реакция привела к дальнейшему повышению температуры на планете. Марс находится относительно далеко от Солнца и поэтому, по-видимому, он не получал достаточно тепла, чтобы сохранить жидкую воду. Недостаток тепла в определенной степени связан и со сравнительно небольшим размером этой планеты. При прочих равных условиях удельная площадь поверхности малых объектов больше, чем крупных (и удельная площадь поверхности кожи у детей больше, чем у взрослых). Но чем больше площадь поверхности, тем больше потери тепла: дети замерзают в холодной воде быстрее взрослых. Вот и с планетами та же история. Марс из-за малого размера утратил и свое тепло, и геологическую активность.

Жизнь планеты полностью зависит от времени и места ее появления, от ее размера и состава. Наша планета обитаема лишь по той причине, что она возникла на правильном расстоянии от Солнца, находится в гравитационном равновесии с соседями, имеет правильную массу, необходимую для сохранения жидкой воды и атмосферы и поддержания круговорота веществ. Кого прикажете благодарить за это?

**Хвала Юпитеру**

Древние римляне считали, что бог Юпитер следит за соблюдением норм и законов и тем самым регулирует отношения в обществе. Планета Юпитер играет аналогичную роль в физическом и биологическом мире.

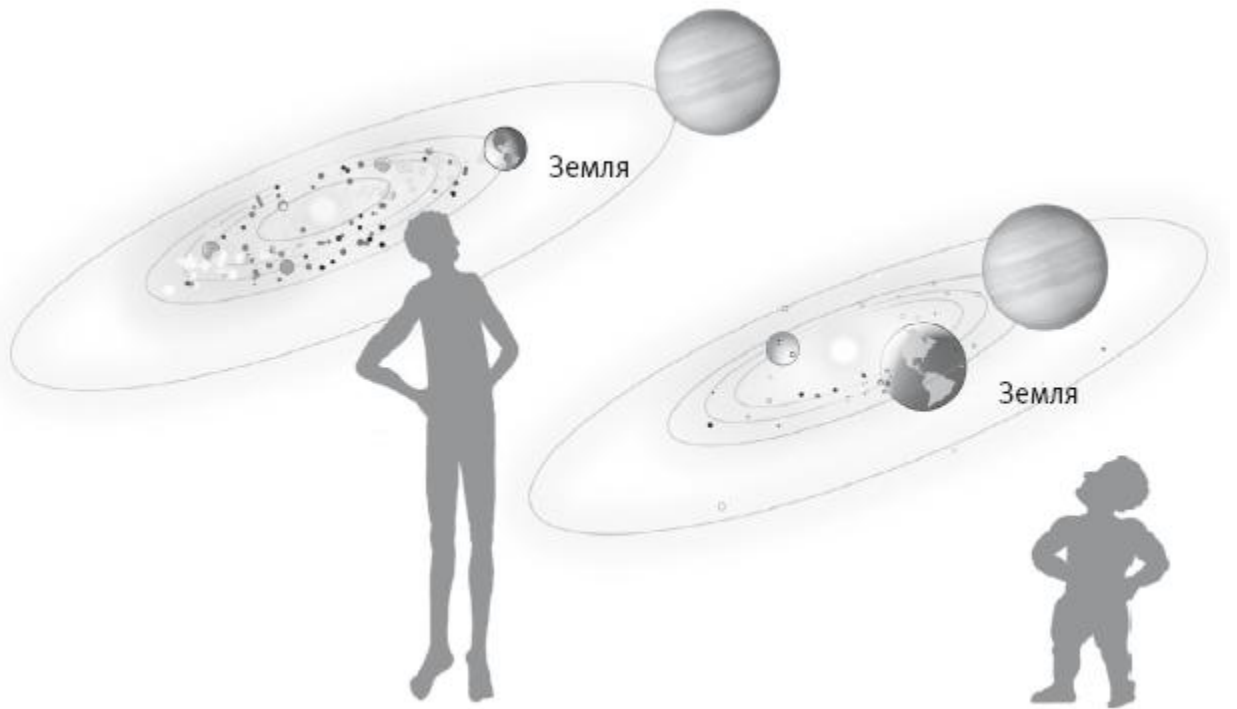
Масса Юпитера в два с половиной раза превышает массу всех остальных планет Солнечной системы, вместе взятых. Он в триста с лишним раз тяжелее Земли. Внутри него могут поместиться одиннадцать сотен таких планет, как Земля. Имея гигантскую массу и мощное гравитационное поле, Юпитер оказывает очень сильное влияние на своих соседей. Он привлекает астероиды и кометы, а также соревнуется с Солнцем, затягивая планеты на свою орбиту. Это противостояние Юпитера и Солнца определило орбиту Земли и оказало серьезное влияние на ее историю.

Более 4,6 миллиарда лет назад, когда вихрь пыли кружился вокруг звезды, впоследствии ставшей Солнцем, возникли сгустки вещества (как и предполагали Сведенборг, Кант и Лаплас). Силы притяжения планет определили их взаимное расположение. Представьте себе, какое влияние оказывали на формирующуюся Землю все другие планеты, Солнце и центр притяжения внутри самой Земли. Юпитер с его сильным гравитационным полем в значительной степени определил, сколько вещества может быть использовано на формирование Земли и где в Солнечной системе она окажется.

Результаты компьютерного моделирования показывают, что Юпитер образовался раньше Земли. Соревнование с Юпитером за остатки вещества повлияло на конфигурацию остальной части Солнечной системы. Если бы Юпитер образовался ближе к Солнцу, возможно, в Солнечной системе было бы меньше планет, но они были бы крупнее. Если бы он расположился дальше, возможно, возникло бы больше маленьких планет. Размер нашей планеты и ее расположение относительно Солнца (то есть основные факторы, определившие наличие воды и жизни) в значительной мере связаны с влиянием Юпитера.

Но Юпитер повлиял не только на наличие воды на нашей планете, но даже на размер, форму и функционирование наших тел. Юпитер определил размер Земли и тем самым силу гравитации на ее поверхности. Простой мысленный эксперимент позволяет выявить целую сеть взаимосвязей. Если бы Юпитер расположился ближе к Солнцу, Земля была бы крупнее и тяжелее, и обитатели Земли были бы вынуждены выдерживать гораздо более сильное земное притяжение. Даже если бы такая странная Земля смогла удержать жидкую воду, что маловероятно, жизнь на планете была бы совсем другой. Инженерам хорошо известно: прочнее та балка, что толще. При прочих равных условиях на более тяжелой Земле жили бы более толстые существа, которые лучше справлялись бы с силой земного притяжения. И, напротив, на маленькой Земле сила притяжения была бы меньше, и живые существа вырастали бы более высокими и легкими. Масса Земли определяет силу притяжения и тем самым влияет на все без исключения аспекты нашей жизни – от размера и формы тела до того, как мы передвигаемся, едим и взаимодействуем с нашей планетой.





Представить себе влияние Юпитера на форму человеческого тела – все равно что оказаться в в комнате смеха. Если бы Юпитер расположился дальше от Солнца, мы жили бы на маленькой планете и были бы выше ростом (слева), а если бы Юпитер поместился ближе к Солнцу, мы были бы приземистее (справа).

Нам невероятно повезло: сначала небольшой перевес вещества над антивеществом, потом формирование Юпитера, сделавшего нашу планету обитаемой, и, наконец, случайный выбор из миллионов сперматозоидов одного единственного, который определил наш геном, – все это позволило нам родиться здесь. Но практически наверняка еще через миллиард лет Солнце израсходует весь запас водорода, расширится и станет слишком горячим. Земля потеряет воду. Потеря воды приведет к парниковому эффекту и перегреву поверхности планеты. Наша Земля станет такой же, как Венера. Возможно, дальше от Солнца найдется другая планета с жидкой водой и условиями, пригодными для жизни. Возможно, это будет какое-то более отдаленное тело Солнечной системы, на котором сейчас есть лед, например, один из спутников Юпитера, такой как Европа, или спутник Сатурна Энцелад. Наше везение и совершенство условий, определивших наше существование – преходящи.

## **Глава 4**

### **О времени**

//-- 4,5 миллиарда лет --//

Перемещение в машине времени на четыре с половиной миллиарда лет назад было бы не только сверхъестественным, но и опасным. Чтобы выжить в атмосфере без кислорода и

под кислотными дождями, понадобились бы такие скафандры, которых пока не создала современная технология. Постоянное падение с неба камней и льда иногда разогревало поверхность Земли до тысяч градусов по Фаренгейту. Никаких океанов при такой температуре появиться, конечно, не могло: жидкая вода могла возникать, однако она вскоре испарялась. Возможно, вы надеетесь хотя бы увидеть дивные лунные ночи? Забудьте об этом. Луны еще нет. Следы превращения того странного мира в современный можно обнаружить на разных небесных телах Солнечной системы. Шесть космических аппаратов, спускавшихся на Луну, доставили нам пробы грунта. С помощью миниатюрных наборов геологических инструментов были собраны образцы камней из кратеров вулканов, с возвышенностей и низин лунной поверхности. Эти образцы теперь хранятся в жидком азоте в Хьюстоне и Сан-Антонио. Несколько небольших фрагментов были подарены высокопоставленным иностранным гостям, а еще несколько выставлены на обозрение публики. Основная масса камней (около трехсот пятидесяти килограммов) все еще остается неизученной. Но те образцы, которые побывали в лабораториях, помогли узнать много интересного о происхождении нашего мира.

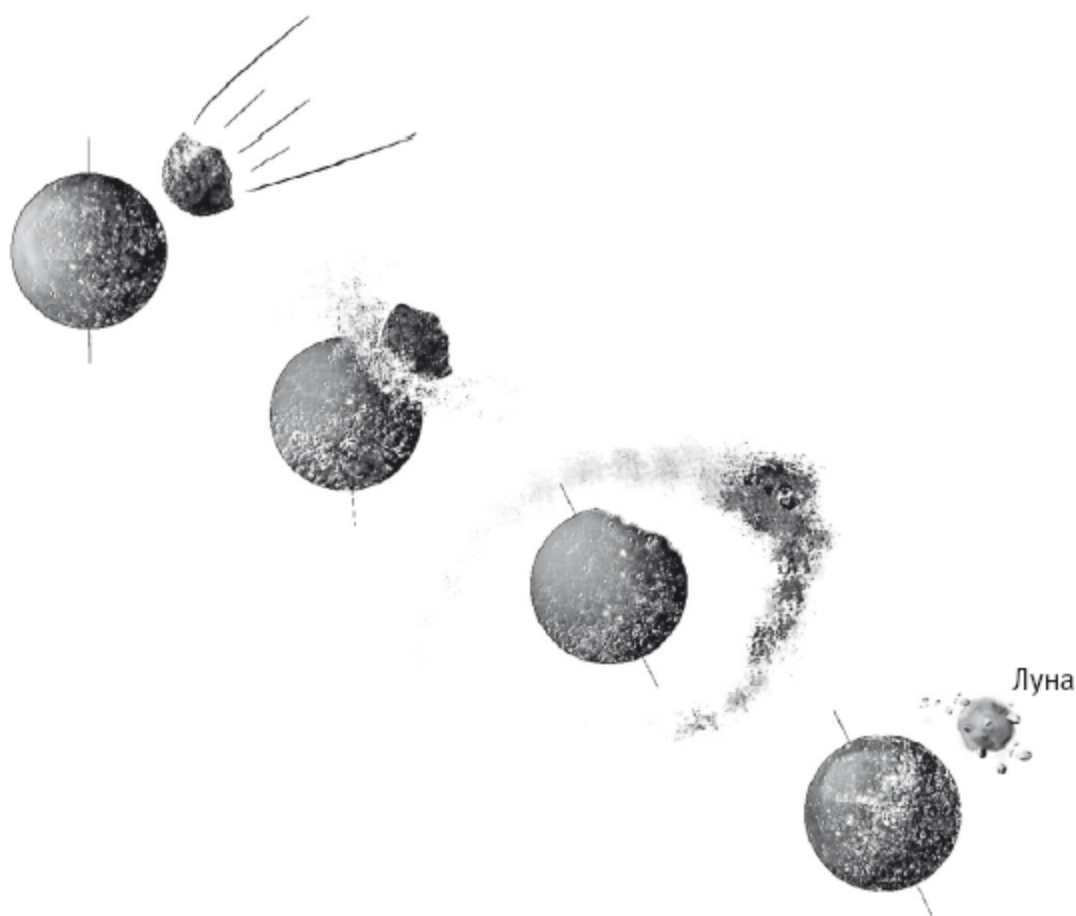
Один из наиболее важных фактов состоит в том, что камни с Луны совершенно обычны и для Земли. По структуре и составу лунные камни ближе всего к земным по сравнению с любыми другими в Солнечной системе. Один общий признак интересен особенно. Атомы кислорода могут существовать в разных формах – в зависимости от числа нейтронов в составе ядер. Измеряя содержание тяжелых и легких атомов кислорода в камнях, можно определить один очень показательный параметр. Камни в составе каждого небесного тела в Солнечной системе характеризуются определенным соотношением тяжелых и легких атомов кислорода, поскольку содержание кислорода в камнях зависит от их расстояния от Солнца в момент формирования. Так вот, соотношение изотопов кислорода в лунных и земных камнях практически одинаковое, и это говорит о том, что Земля и Луна сформировались на одном расстоянии от Солнца – возможно, на одной и той же орбите.

Тем не менее между земными и лунными камнями существует очень важное различие. Лунные камни почти не содержат определенной группы атомов – так называемых летучих элементов. Эти элементы – водород, сера и азот – обладают одним общим свойством: они имеют тенденцию испаряться при повышении температуры (отсюда их название). В далеком прошлом лунные камни по какой-то причине разогрелись до такой степени, что утратили летучие компоненты. О чем же это свидетельствует?

Согласно одной из наиболее интересных современных теорий, образование Луны можно сравнить с гонками на выживание – популярным в 70-х годах автоспортом, в котором спортсмены намеренно (и без всякой жалости к технике) сталкивались друг с другом (выигрывал последний автомобиль, сохранивший способность двигаться) так, что детали летели во все стороны.

Подобный характер соударений может служить моделью, описывающей происхождение системы Земля – Луна. Более четырех с половиной миллиардов лет назад крупный астероид (возможно, размером с Марс) столкнулся с формирующейся Землей. И, как в гонках на выживание, это привело к выбросу легких частей каждого небесного тела и к слиянию их более тяжелых частей. Пыль и мелкие обломки, лишившиеся летучих элементов, стали вращаться вокруг Земли в виде диска. Со временем обломки слились в Луну. Центральные части двух небесных тел не разлетелись, а из-за сильного удара разогрелись, перешли в полужидкую форму – и позднее остыли, образовав новое ядро

Земли. В результате удара ось вращения Земли сместилась на  $23,5^\circ$ .



Столкновение Земли с астероидом. Образование Луны.

Сначала на одной солнечной орбите находились два крупных небесных тела. После столкновения они превратились в Землю и Луну, которые с тех пор кружатся вместе в орбитальном танце, влияя своим гравитационным полем друг на друга. Согласно законам физики, скорость суточного вращения Земли связана с месячным оборотом Луны. Влияние этого события на нашу жизнь очевидно и глубоко: длительность суток и месяцев, как и смена времен года, непосредственно связаны с рождением системы Земля – Луна. Все часы и календари на планете, как и клетки нашего тела, несут следы катастрофы, случившейся 4,5 миллиарда лет назад.

### **Следим за временем**

У римлян был эффективный способ контроля над чиновниками в отдаленных, беспокойных областях империи. Вместо того чтобы перекраивать округа, помогая своим сторонникам и наказывая непокорных, Цезарь и его приближенные перекраивали календарь. Представитель в таком-то регионе лоялен? Добавим к его сроку несколько дней. Или, напротив, выказывает строптивость? Укоротим ему год. Метод оказался удивительно эффективным, однако со временем он не только децентрализовал календарь, что усложняло управление государством, но и привел к тому, что возникла невозможная путаница политических событий и дат.

Причина всех этих сложностей заключается в самом характере движения Земли в космосе. Мы все проходим астрономию в школе, но к моменту поступления в университет большинство забывает законы движения планеты. Недавно социологи попросили студентов Гарварда ответить, почему происходит смена времен года. Более 90 % опрошенных ответили неправильно. Смена времен года не имеет отношения ни к тому, сколько света получает Земля летом и зимой, ни к тому, что Земля вращается вокруг своей оси, ни к тому, что она приближается к Солнцу либо удаляется от него.

Со времен Коперника известно, что Луна вращается вокруг Земли, а Земля вращается вокруг Солнца, причем земная ось сохраняет наклон  $23,5^\circ$ . Угол падения солнечного света на Землю в разных участках земной орбиты разный. Там, где свет падает прямо, день долгий и тепло (это лето), а там, где свет падает под наклоном, день короче и холоднее (это зима). Смена времен года определяется не просто вращением Земли вокруг Солнца, а постоянным наклоном земной оси при вращении.

Наша жизнь зависит и от вращения Земли вокруг Солнца, и от вращения Луны вокруг Земли, поэтому календарь может быть построен по-разному. Конечно, длительность года определяется вращением Земли вокруг Солнца. Зная, какой день в году самый длинный, а какой короче всех, мы можем разделить год на месяцы в зависимости от смены времен года. Другой способ построения календаря основан на положении Луны, меняющей фазы от полнолуния к новолунию в двадцатидевятидневном цикле. К сожалению, мы не можем синхронизировать лунный календарь с сезонным (солнечным), потому что количество лунных циклов нельзя прямо связать с количеством солнечных циклов.

Как быть? Приходится вводить поправку. Юлианский календарь предусматривал, что каждый четвертый год является високосным. Католическую церковь это не устраивало из-за “миграции” дня Пасхи. Чтобы исправить ситуацию, в 1582 году папа Григорий VIII ввел в обиход новый календарь. Италия, Испания и некоторые другие страны приняли его немедленно после оглашения папской буллы, так что 4 октября 1582 года стало 15 октября и одиннадцать дней потерялись. Другие страны действовали по-разному. Например, Британия и ее колонии приняли новый календарь лишь в 1752 году. Важнейший вопрос, который приходилось улаживать, естественно, касался даты сбора налогов.

Годы, месяцы и сутки хотя бы теоретически определяются поведением небесных тел, а вот минуты и часы – это простая условность. В неделе семь дней лишь по той причине, что Библия рассказывает о шести днях творения и седьмом дне, предназначенном для отдыха. Час разделен на шестьдесят минут, а минута на шестьдесят секунд исключительно для нашего удобства. В Древнем Вавилоне система исчисления основывалась на числе 60. Это удивительное число делится на 2, 3, 4, 5 и 6.

Люди всегда внимательно следили за временем. Временные интервалы в нашей жизни определяются как цикличностью небесных событий, так и потребностями общества. Когда строительство жилищ, охота, да и само выживание зависели от времени суток и сезона, люди определяли время по Солнцу, Луне и звездам. Другие ранние приспособления для измерения времени основывались на действии силы тяжести, например песочные или водяные часы (появившиеся в Египте в 4000 году до н. э.). Постепенно потребность следить за временем эволюционировала. В частности, необходимость разделения периодов времени на более мелкие отрезки связана с развитием общества, торговли и транспорта. Нашим пещерным предкам идея разделения времени на секунды казалась бы столь же непонятной, как реактивный самолет.

Но в мире есть часы, которые не связаны ни с какими условностями и не зависят от

политической или экономической ситуации. Таким счетчиком является наша ДНК. На протяжении длительных отрезков времени изменения в последовательности ДНК происходят практически с регулярной частотой. Это означает, что сравнительный анализ ДНК двух видов организмов позволяет узнать время их расхождения: чем сильнее различаются последовательности ДНК, тем дольше они существуют как независимые виды. На примере циркона мы увидели, что атомы в составе горных пород тоже могут рассказать о времени. Зная соотношение разных вариантов урана, аргона или свинца, можно сказать, как давно образовались минералы в составе горной породы.

Интересно, что часы в камнях и в живом организме связаны. И те, и другие являются частью одного планетарного и солнечного “метронома”. Сравнение ДНК людей, животных и бактерий показывает, что все эти виды произошли от общего предка, жившего более трех миллиардов лет назад. Примерно к этому же времени относятся самые ранние из найденных окаменелостей. Такое совпадение временных показателей, полученное при анализе ДНК и камней, тем удивительнее, что все это время камни нагревались и перемещались, а ДНК мутировала, эволюционировала и перераспределялась между видами. Согласованный ход этих двух видов часов говорит о справедливости наших гипотез. Более того, различия в показаниях “часов” могут стать источником новых предсказаний. Поговорим, к примеру, о китах. Это одни из самых необычных обитателей планеты: гигантский размер, дыхательное отверстие в середине головы, уши-гидролокаторы, странные конечности, позвоночник и хвост. Однако ученым давно известно, что ближайшими родственниками китов являются млекопитающие: у китов имеются остатки волосяного покрова, у них есть молочные железы и многие другие признаки млекопитающих. Какие именно млекопитающие – самые близкие родственники китов? Когда киты покинули сушу? Анализ ДНК показывает, что киты, скорее всего, произошли от парнокопытных животных, таких как гиппопотамы и олени. Различия в последовательностях ДНК говорят, что отделение ветви китов произошло около пятидесяти пяти миллионов лет назад. Это знание стало источником новых вопросов для палеонтологов. Мало того, что на тот момент не было найдено никаких окаменелостей, подтверждающих этот переход: не было вообще никаких ископаемых животных столь древнего возраста, напоминающих китов. Этот пробел стал импульсом для новых поисков. В результате палеонтологи обнаружили в горных породах, возраст которых превышает пятьдесят миллионов лет, скелеты китов с таким же строением костей задних конечностей, как у гиппопотамов и их родственников. Напомню, что эти открытия были сделаны в результате сравнения показаний часов, заключенных в ДНК и горных породах.

В телах живых существ и в камнях есть не только часы, но и календарь. Взгляните на срез коралла – и вы увидите, что в его стенках чередуются светлые и темные полосы. По мере роста коралла на его скелете нарастают новые слои минерального вещества (это похоже на штукатурку на стене). Формирование минерала зависит от количества солнечного света, так что различие слоев отражает длительность светового дня. Образование минерального слоя быстрее происходит летом, когда дни длиннее, и медленнее – зимой, когда дни короче. Поэтому полосы, образовавшиеся в летние месяцы, толще. Подсчитайте число слоев внутри любого годового цикла. Знаете, что получится? 365. Скелет коралла может служить календарем, в котором отмечен каждый день года.

Таким образом, кораллы не только являются великолепным украшением подводного мира. Они дают нам возможность заглянуть в прошлое. Отколите кусочки от камней вдоль дороги в Айове, в Техасе или в Канаде – и вы увидите кораллы, которые сотни

миллионов лет назад процветали в морях. На древних коралловых рифах стоит Чикаго. Рифы рассказывают о том, как изменилось само время. Посмотрите на кораллы, возраст которых составляет четыреста миллионов лет, и вы увидите в их стенках четыреста слоев. Это означает, что год тогда состоял не из 365, а из 400 дней. Как это произошло? Длительность года определяется вращением Земли вокруг Солнца, и четыреста миллионов лет назад дни, видимо, были короче нынешних. Подсчеты показывают, что сутки тогда составляли примерно 22 часа.

Как замедляющийся волчок, Земля с каждым годом вращается все медленнее. От этого и увеличивается день. При вращении планеты вода в океанах смещается и тормозит планету. Вот почему сегодняшний день на две миллисекунды длиннее вчерашнего.

### **Это у нас в голове**

Торопясь поставить палатку, я проигнорировал кочку. Из-за нее мой спальный мешок съезжал в угол всякий раз, когда я начинал засыпать. Проворочавшись несколько часов, я решил было найти плоское место, но из-за усталости просто положил под себя одежду, книги и кое-какое снаряжение. Хорошо, что в тот день, обустривая лагерь, мы порядком измучились. Я задремал.

Меня разбудило яркое солнце. Я вскочил и быстро оделся, чтобы никого не задерживать. Это был наш первый день в Гренландии, мы должны были отправиться на поиски окаменелостей, и я чувствовал себя на удивление бодрым.

Я отправился на кухню, чтобы приготовить кофе. Наше снаряжение было упаковано так плотно, что поиски контейнеров с едой оказались нелегким делом. Я потратил минут десять, чтобы по списку определить содержание багажа, и, наконец, смог выпить кофе.

Жизнь казалась прекрасной. Было ясное, яркое летнее арктическое утро. В сухом воздухе все видится необычайно четко: предметы, находящиеся на расстоянии нескольких километров, различаются отчетливо, будто до них рукой подать.

Грея ладони о кружку с кофе, я мысленно прогуливался по холмам, которые намеревался обследовать в тот день.

Выпив несколько кружек кофе и насладившись тишиной, я начал понимать: что-то не так. Было слишком тихо. С каждой минутой я ощущал себя все более одиноким.

Я взглянул на часы и все понял: было два часа ночи. А я сидел одетый и готовый к новому дню. Я почувствовал себя совершеннейшим идиотом. Еще и кофе напился! Пытаться заснуть было бесполезно, так что я раскрыл книгу, припасенную для снежных дней, и несколько часов пытался читать, пока не проснулись коллеги.

Конечно же, причиной недоразумения стал свет. Стенки моей палатки не были непроницаемыми, и в ней было светло в любое время суток. Мой мозг, привыкший к южным широтам, усвоил, что свет означает день, а тьма – ночь. Поскольку это правило не имело никакого смысла в Арктике, где летом круглые сутки светло, настройки моего мозга оказались неуместными. Мои опытные коллеги приготовили повязки на глаза, тогда как я “благо разумно” запасся фонарем.

Первые дни мне было не по себе, как будто организм привыкал к жизни на другой планете. Здесь вообще не было ночи, так что узнать время суток можно было, лишь взглянув на часы. Но чем больше времени мы здесь жили, тем лучше мой мозг подстраивался к местным условиям. Солнце очерчивает на небе широкий эллипс, и



предметы в течение дня отбрасывают разные тени. Почти автоматически мозг начинает подчиняться солнечным часам. В Арктике, правда, нет деревьев, но за гномон, отбрасывающий тень, сойдет любой валун или верхушка палатки.

Все мы путешествовали и знаем, что наш сон и пробуждение зависят от Солнца. Буквально каждая часть нашего тела – все органы, ткани и клетки – подчиняется суточному ритму. Почти ночью замедляют свою работу. Это очень приятно, поскольку позволяет реже покидать постель (и особенно важно, если вы очутились в Арктике и спите в спальном мешке). Температура тела в течение суток меняется, и ниже всего она в три часа ночи. Печень тоже функционирует по часам (медленнее всего утром), так что за завтраком выпить кофе проще всего.

Организм реагирует не только на изменение времени суток, но и на изменение времени года. Смена сезонов сопровождается изменением длительности светового дня, температуры и количества осадков. В случае животных эти факторы влияют на характер их питания и на размножение. Мы, люди, не слишком отличаемся от животных. Даже наше настроение зависит от времени года. Согласно некоторым оценкам, во Флориде, на юге, сезонными аффективными расстройствами страдает 1,4 % населения, а в Нью-Гемпшире, на севере, этот показатель достигает 14 %.

Пьяный не замечает, как бежит время: праздник только начался, а все уже разошлось. Марихуана скомкает вечность в двадцатиминутный эпизод “Трех бездельников” [2 - Американский комический телесериал (The Three Stooges, 1934–1958)]. Очень сильное напряжение или эмоциональная нагрузка приводят к тому, что мы теряем ощущение времени. Известная поговорка “Не смотри на чайник, иначе никогда не закипит” отражает наше не всегда адекватное действительности восприятие времени.

В 1963 году французский геолог Мишель Сифр решил расширить представления о времени. Двадцатитрехлетний Сифр уже побывал в нескольких неизведанных регионах. Его интересовало то, что лежит под поверхностью Земли. Составляя карты подземного мира, Сифр обнаружил в Альпах обширные пещеры и ледники. Это был дивный темный мир, и у молодого ученого возник вопрос: что происходит с человеком, потерявшим связь со временем? Мы не только вынуждены мириться с естественным ходом времени – тьмой ночи и светом дня, теплом лета и холодом зимы, – но и подчиняем жизнь нами же придуманным условиям. Будильники, пейджеры, телефоны структурируют нашу жизнь. Но что если совершенно избавиться от их влияния?

Сифр решил послужить самому себе подопытной свинкой и составил план двухмесячного пребывания в пещере на глубине двухсот метров без каких-либо атрибутов обычной жизни. Он взял с собой провиант, раскладушку, фонарик, но – это очень важно – не взял часов. Он не взял вообще ничего, что могло бы напомнить о времени. Единственной связью с миром для Сифра стал телефон. Он звонил друзьям, чтобы сообщить, сколько времени бодрствовал и сколько спал. Идея была в том, чтобы на шестьдесят дней отключиться от нормального светового цикла и от часов, которые на этом цикле основаны.

Сифр вел подробнейшие записи. Он прилежно отмечал на календаре каждый прожитый день, указывая температуру своего тела, настроение и наличие либидо.

На тридцать седьмой день своего пребывания под землей, когда до конца эксперимента оставалось двадцать три дня, Сифр беседовал с коллегой, находившимся на поверхности. Тот спросил, за сколько дней до конца эксперимента Сифра следует предупредить.

– Дня за два, чтобы я успел собрать вещи, – ответил Сифр.

– Тогда начинай собираться.

Эксперимент кончился. Основываясь исключительно на внутренних часах, Сифр потерял двадцать три дня.

Что произошло? Ответ можно найти в дневниках экспериментатора. Он самым тщательным образом регистрировал время подъема и отхода ко сну, свои звонки друзьям. Однако у него не было часов и он не знал, сколько спал. То, что ему казалось десятиминутной дремотой, на самом деле было полноценным восьмичасовым сном.

Сифр совершенно перестал ориентироваться во времени. Он звонил друзьям, чтобы проверить, может ли он правильно установить длительность двух минут, просто считая до ста двадцати. Большинство людей способно приблизительно отмерить этот отрезок времени. У Сифра на этот счет уходило пять минут.

Когда исследователи проанализировали дневник Сифра, они пришли к важному заключению. Биологическая активность под землей подчинялась земным законам. Время бодрствования и сна по-прежнему суммарно составляло двадцать четыре часа. Ощущение ученым времени оказалось совершенно неверным, но его биологические часы остались в норме.

В следующие годы многие добровольцы подвергали себя подобной изоляции, а хитроумные приборы следили за их физиологической активностью, работой мозга и поведением. Некоторые добровольцы несколько недель или месяцев жили в помещениях без света или со строго контролируемой подачей света. Другие пытались выжить в экстремальных условиях. Один скульптор, например, собирался прожить в полной темноте несколько месяцев. Эксперимент пришлось прекратить через несколько дней, поскольку экспериментатор начал терять рассудок.

Из всех подобных опытов по ограничению возможностей восприятия следует интересный вывод. Многие из наших физиологических нужд (сон, питание, сексуальное влечение) имеют циклический характер, даже если мы живем в темной пещере или комнате либо в другом изолированном пространстве. Время идет не только в часах, но и в наших ощущениях и где-то очень глубоко внутри нас.

Начало научной карьеры американца Курта Пауля Рихтера трудно назвать успешным. После военной службы во время Первой мировой войны он устроился на работу в Университет им. Джона Хопкинса, чтобы изучать роль врожденных инстинктов в поведении животных. Он прибыл в Балтимор в 1919 году и начал работать под руководством одного маститого ученого, знаменитого исследованиями в этой области. Новый научный руководитель Рихтера повел себя необычно. Рихтера снабдили всем необходимым: ему выделили маленькую комнату для работы, выдали абонемент в библиотеку и кое-какие другие вещи, необходимые студенту. И оставили одного. Никаких собраний, никаких обязательных курсов либо семинаров, вообще никаких обязанностей. Со студентами здесь никто не нянчился: либо утонет, либо выплывет.

Спустя какое-то время научный руководитель вручил Рихтеру клетку с двенадцатью обычными крысами. Инструкции наставника были предельно краткими: “Сделай хорошую работу”. Рихтер начал с того, что стал скармливать крысам хлеб и целыми днями наблюдал за ними. Как и всякий настоящий ученый, он записывал все до мелочей: когда крысы ели, чем именно они занимались... В один прекрасный день он сделал наблюдение, которое в корне изменило его карьеру и стало отправной точкой для целого

направления научной мысли. Крысы то скакали по клетке, то успокаивались. У них совершенно определенно различалось время активности, время отдыха, время приема пищи. Рихтер начал игру. Сначала он оставлял на всю ночь свет в лаборатории. Затем стал на сутки выключать свет. Характер активности крыс не менялся. Крысы реагировали примерно так, как и “пещерный человек” Сифр.

Это простое наблюдение поставило перед Рихтером вопрос, на который он пытался ответить всю оставшуюся жизнь: что является основой врожденного суточного ритма? Как он контролируется?

Рихтер переключился на изучение слепых крыс. Эти животные, не различавшие свет и тьму, имели такой же суточный ритм сна, бодрствования и питания, как и зрячие. Рихтер решил, что в организме слепых крыс есть некий часовой механизм. Но где он?

Первыми кандидатами на роль “хранителя времени” стали железы, которые секретируют гормоны, регулирующие работу сердца, дыхание и другие функции организма. Рихтер давал крысам препараты, нарушавшие гормональный баланс, изменял их режим питания и даже удалял им гормональные железы. За несколько лет он провел более двухсот экспериментов и в каждом случае получал один и тот же результат. Вне зависимости от того, что он удалял и какой гормон блокировал, суточный ритм животных не менялся.

Затем Рихтер перешел к изучению головного мозга и нервов крыс. Он удалял участки мозга крыс и следил за результатом. В 1967 году, то есть спустя сорок пять лет после того, как научный руководитель выдал ему клетку с крысами, Рихтер удалил небольшой участок ткани в основании головного мозга. Изъятие этого небольшого (размером не больше рисового зернышка) фрагмента ткани полностью изменило поведение животных. Итак, внутренние часы крыс были спрятаны в крошечной группе клеток, расположенной непосредственно позади глаз.

Как группа клеток может следить за ходом времени? Ответ на этот вопрос нельзя было найти, удаляя отдельные участки тела. Он был получен с помощью другого научного подхода.

## **Часы повсюду**

Генетические мутанты – это рабочие лошадки биологии. Шестипалые кошки, двухголовые змеи и сросшиеся телами козы – не просто диковинки. С их помощью мы можем понять основы строения и функционирования нормальных организмов. Гены мутантных организмов функционируют неправильно, но их научная ценность состоит в том, что они могут многое рассказать о работе нормальных генов.

Допустим, у нас имеется мутантное животное без глаз. Понятно, что между мутантным и нормальным животным существует некое генетическое различие. Чтобы выделить дефектный ген, нужно провести большую работу, но, скрещивая мутантных и нормальных животных, можно идентифицировать этот ген и даже выявить конкретное нарушение в последовательности ДНК. Знание последовательности – вот ключ к пониманию молекулярных механизмов, регулирующих формирование глаз. То же можно сказать практически о любом гене в организме.

Этот подход оказался настолько продуктивным, что многие лаборатории занялись прочесыванием популяций в поисках подходящих мутантов. Многие сделали научную

карьеру и даже получили Нобелевскую премию благодаря классификации мутантов или просто благодаря находке “правильных” мутантов с дополнительными пальцами, выпученными глазами, необычными конечностями или сердцами. Награда может быть сколь угодно высока, но получение результата часто зависит от случая. Некоторые мутации обнаруживаются лишь у одной особи из ста тысяч. К сожалению, труднее всего работать с млекопитающими (которые как раз сильнее всего нас интересуют): они медленно развиваются и большую часть критического периода развития скрыты от наблюдения в чреве матери.

В частности поэтому в последние сто лет излюбленным объектом для изучения генов животных являются мухи. В отличие от млекопитающих или пресмыкающихся, мух можно добыть сколько угодно, поскольку они очень быстро воспроизводятся и развиваются. Наличие постоянного источника эмбрионов позволило ученым не только получить множество мутантов, но и описать их, классифицировать и запасти для других исследований.



Сеймур Бензер

Зачем ждать милости от природы, если можно сотворить мутанта? Процесс внесения мутаций в ДНК достаточно прост (по крайней мере в теории). Время воспроизводства мух – около недели. Если взять несколько дрозофил и обработать определенными химическими веществами или подвергнуть их облучению (это нарушает процесс копирования ДНК), то в следующем поколении мы получим множество мутантов (возможно, среди них будут нужные нам особи со странными конечностями, необычными глазами и так далее).

В конце 60-х годов лаборатория Сеймура Бензера в Калифорнийском технологическом институте являлась ведущим научным центром по изучению мутантов всех сортов. Студент Рональд Конопка решил использовать мутантов по-своему. В лаборатории Бензера занимались изучением поведения животных, и к тому времени, когда Конопка пришел в группу, в лаборатории уже были собраны мутанты с необычным брачным поведением и танцами.

Конопка намеревался использовать мутантов, чтобы изучить генетические основы биологических часов. Его идея шла вразрез с общепринятой точкой зрения. Тогда считалось, что биологические часы – это что-то вроде очень сложно устроенного секундомера.

Но Конопка оказался в нужном месте и в нужное время: Бензер был кровно заинтересован в выяснении принципа действия биологических часов. Он был типичной “совой” и засиживался в лаборатории до поздней ночи, тогда как его жена ложилась спать вскоре после ужина. Возможно, мутантные мухи смогут помочь супругам, встречающимся лишь за обеденным столом.

Конопка долго возился с дрозофилами. Личинки дрозофил выводятся из яиц, едят и наконец обзаводятся твердым внешним каркасом, из которого в итоге вылезает взрослая муха. Появление взрослых особей обычно приходится на раннее утро – самое холодное время суток. Так уж настроены мушиные внутренние часы: мухи, выведенные в искусственном цикле день/ночь, выводятся в конце ночного периода.

Примерно через двести циклов мутаций Конопка получил несколько особей, у которых временные рамки были смещены: некоторые вылуплялись слишком рано, другие слишком поздно, а третьи вообще в случайное время суток. Это было то, что нужно: изменение времени рождения практически наверняка было вызвано какими-то генетическими дефектами. Возможно, был испорчен часовой механизм дрозофилы.

В лаборатории мух каждого типа скрестили с такими же и вывели линии мутантных животных. С их помощью Конопка и Бензер начали исследование молекулярного механизма биоритмов.

Как и любой ген, ген Конопки производит белок, выполняющий в организме некую работу. Если ген известен, можно попытаться ответить на важный вопрос, где и когда функционирует кодируемый им белок. У нормальных дрозофил уровень синтеза этого белка достигает максимума в поздние ночные часы, а затем падает практически до нуля. Знание этой закономерности позволило ученым понять суть обнаруженных мутаций. У дрозофил, которые вылуплялись слишком рано, максимальный уровень синтеза данного белка тоже достигался слишком рано. У тех, что появлялись поздно, пик синтеза наблюдался слишком поздно. Сам белок у дрозофил с нарушенным суточным ритмом оказался испорченным. Снижение активности белка полностью соответствовало нарушению суточного ритма.

К этому времени ученые из других лабораторий тоже приступили к решению этой проблемы. С помощью новых методов генетики удалось выделить ДНК и обнаружить ряд других генов, задействованных в данной системе. С открытием каждого нового гена постепенно прояснялся механизм работы биологических часов дрозофилы.

Если заглянуть в “часовой механизм” организма, мы увидим внутриклеточный аналог маятника. В данном случае отсчет времени осуществляется благодаря последовательностям химических реакций, скорости которых определены физическими и химическими законами. В результате активации ДНК синтезируются взаимодействующие

друг с другом белки. Они транспортируются в определенные клеточные отделы и выполняют различные задания, среди которых активация новой порции ДНК. Этот цикл постоянно возобновляется. Скорость раскачивания маятника определяется скоростью образования, превращения и транспорта белков, а также скоростью их взаимодействия с ДНК.

Мутантные дрозофилы позволили не только обнаружить гены, контролирующие биологический ритм у дрозофил, но и найти способ изучения часового механизма в организме человека.

Спустя примерно десять лет после открытия Конопки и Бензера студент Мартин Ральф занялся поиском генов, контролирующих биоритмы у млекопитающих. Ральф и его научный руководитель работали в Орегоне с сирийскими хомячками. Хомяки бегали в колесе, а ученые регистрировали их активность. В норме у хомяков есть периоды активности и отдыха, которые в сумме составляют двадцать четыре часа.

Каждый хомяк, поступавший в лабораторию, подвергался тестированию на колесе. Ральф надеялся, что однажды обнаружит животное с аномальным ритмом активности и отдыха. Он поставил на то, что среди еженедельно поступавших хомяков рано или поздно найдется мутантное животное.

Однажды Ральф получил новую партию животных, запустил их в клетку и начал наблюдать за их поведением на колесе. К его радости (и, несомненно, облегчению) цикл активности и отдыха одного из животных сильно отличался от обычного двадцатичетырехчасового цикла. Сутки для этого хомяка укладывались в двадцать два часа. Ральф скрестил этого хомяка с другими и в их потомстве также обнаружил особей с укороченным суточным циклом активности и отдыха. Нарушение суточного ритма было связано с мутацией гена.

Когда Ральф и другие стали изучать этот ген, они выяснили, что его действие в основном связано с небольшой группой клеток в ткани мозга. Мутация затрагивала клетки в участке, обнаруженном Рихтером. Ральф выиграл пари.

Картина еще более прояснилась в начале 90-х годов XX века, когда в клинику сна в Солт-Лейк-Сити обратилась пациентка со странной проблемой. Спала она по восемь часов, но в какое бы время она ни пыталась лечь спать, засыпала она всегда в 19.30, и это означало, что просыпалась она в 3.30. Ее часовой механизм работал, но со сдвигом. Когда пациент обращается в клинику, его обкладывают датчиками, которые во время сна регистрируют скорость дыхания и сердцебиения, температуру тела и другие параметры. Ничего необычного в состоянии пациентки обнаружено не было.

Однако женщина сообщила удивительный факт: среди ее родственников были люди с точно такой же странностью. Родственники, жившие в разных местах, тоже вставали очень рано. Кто-то из них в детстве спал нормально, но со временем перешел на этот странный режим. Постепенно ученые начали понимать, что дело не в том, где эти люди живут или что едят.

Было составлено генеалогическое древо, на котором отметили всех людей с нарушением и без нарушения сна. Картина прояснилась: это был классический пример проявления генетического признака, как в случае с мутантными дрозофилами.

Однако одно лишь изучение генеалогии не позволяет обнаружить дефект ДНК. Для выявления причины нарушения требуется взять немного клеток у всех членов семьи (обычно для этого берут мазок внутренней стороны щеки) и сравнить ДНК из клеток тех,



кто встает рано, и тех, кто встает как все. Если генетическое различие между двумя группами людей существует, оно где-то в последовательности ДНК.

Сравнительный анализ ДНК выявил конкретную замену в конкретном гене. Гены и белки имеют характерные последовательности. Если известна последовательность и структура гена или белка, довольно легко найти его в других клетках. Именно так была обнаружена связь между ДНК рано просыпающихся людей, ДНК хомячков Мартина Ральфа и генами спозаранку вылуплявшихся дрозофил Конопки и Бензера. У каждого вида свои особенности белковых взаимодействий внутри часового механизма, но основные гены и принципы действия молекулярного маятника внутренних часов одни и те же. Мух, хомячков и людей объединяют общие детали внутреннего часового механизма, общие гены, общая история.

Общность часового механизма не только указывает на нашу связь с другими видами, но и позволяет выявить фундаментальные принципы устройства клеток человеческого тела. Внутри всех клеток (от клеток мозга, найденных Рихтером, до клеток печени или клеток кожи на кончике пальца) присутствует один и тот же генетический часовой механизм. Если вы страдаете нарушением сна, имеющим генетическую природу, врач может поставить диагноз по клеткам кожи, капле крови или мазку с внутренней стороны щеки. Каждая клетка существует в соответствии с суточным ритмом, отбиваемым молекулярными “часами” – столь же древними, как сами животные.

Как устанавливается ритм молекулярных “часов” в наших клетках, как они подстраиваются к смене дня и ночи? Дорожный будильник, который мы берем в путешествие, работает двадцать четыре часа в сутки, но он не способен самостоятельно определить, в какой часовой зоне находится, и ему требуется помощь. Так почему мы, люди, ощущаем изменение суточного ритма? Что подняло меня на ноги в два часа ночи тем летом в Арктике?

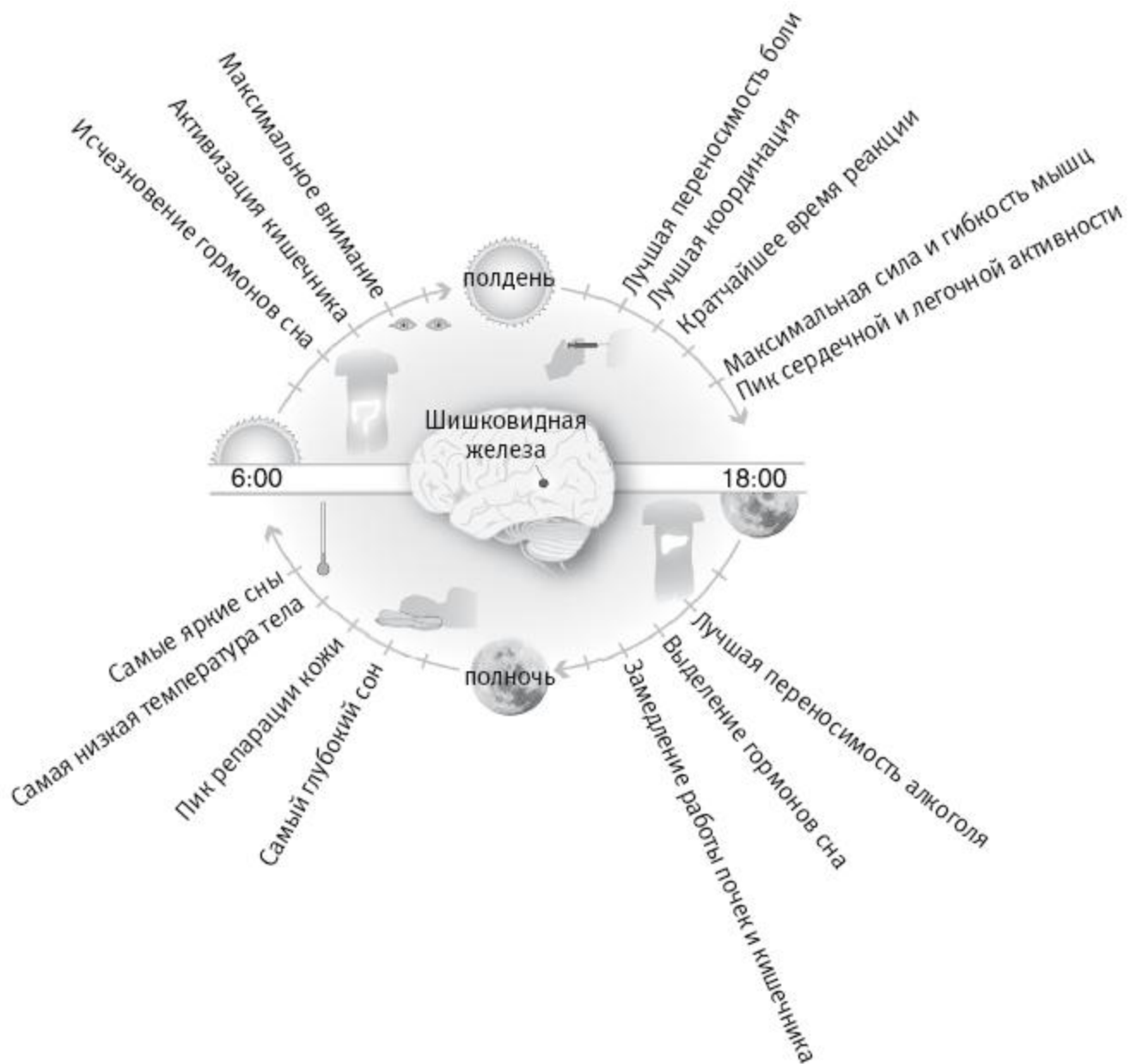
Наши внутренние часы связаны с внешним миром посредством нескольких “сигнальных систем”, важнейшей из которых является восприятие света. Большая доля света, проникающего в глаз, передается в виде сигнала в определенные отделы головного мозга, интерпретирующие зрительную информацию. Однако некоторые сигналы поступают в другие отделы мозга, в частности, к клеткам, обнаруженным Рихтером. Отсюда сигнал передается к шишковидной железе размером с горошину, расположенной в основании головного мозга. Некоторые (в том числе великий французский философ Рене Декарт) считали шишковидную железу вместилищем души. У некоторых видов ящериц и рыб эта железа образует что-то вроде третьего глаза и непосредственно воспринимает световую информацию. А у человека это своеобразный коммуникационный узел, собирающий информацию. Выделяемый шишковидной железой мелатонин запускает реакции во всех отделах нашего тела.

Эта цепочка реакций подстраивает наше тело к смене дня и ночи. Именно этот путь настраивает внутренние часы так, что свет для нас означает день, а темнота – ночь. Когда мы попадаем в другую часовую зону, сигнальный путь настраивает организм на новый световой режим.

Что происходит, когда яркий солнечный свет попадает в глаза в середине дня? Обычно ничего, кроме обыкновенной настройки зрительного аппарата. Но если яркий солнечный свет попадает в глаза в сумерки, это может нарушить сон. Люди, работающие в сумерки при ярком свете, обычно устают позже, чем обычно. Верно и обратное: яркий солнечный

свет на рассвете заставляет людей просыпаться и засыпать раньше обычного. Наш цикл сна и бодрствования изменяется, если мы находимся при свете тогда, когда наш мозг настроен на темноту. Современные люди находятся под воздействием искусственного освещения в любое время суток, и наши внутренние часы перестраиваются всякий раз, когда мы среди ночи читаем или разбираем электронную почту. Ритм современной жизни не совпадает с древними биологическими ритмами.

Наше здоровье в значительной степени связано с биологическими часами. Люди, работающие по ночам и спящие днем, больше подвержены сердечно-сосудистым заболеваниям и некоторым видам рака, в частности раку молочной железы. Ученые, работающие с мышами, установили, что механизм коррекции ошибок в ДНК клеток кожи мышей работает по часам и наиболее активен вечером. В ДНК, скопированной утром, содержится больше всего ошибок. Ультрафиолетовое излучение нарушает процесс копирования ДНК и способствует возникновению рака кожи. Таким образом, для мышей солнечные ванны по утрам опаснее вечерних. У людей тоже есть такие часы, но они настроены противоположным образом: наш аппарат коррекции ошибок в ДНК активнее всего утром. Таким образом, загорать утром менее опасно, чем вечером. Наш метаболизм тоже подчиняется биологическим часам. Известно даже, что склонность к ожирению может коррелировать с недостатком сна.



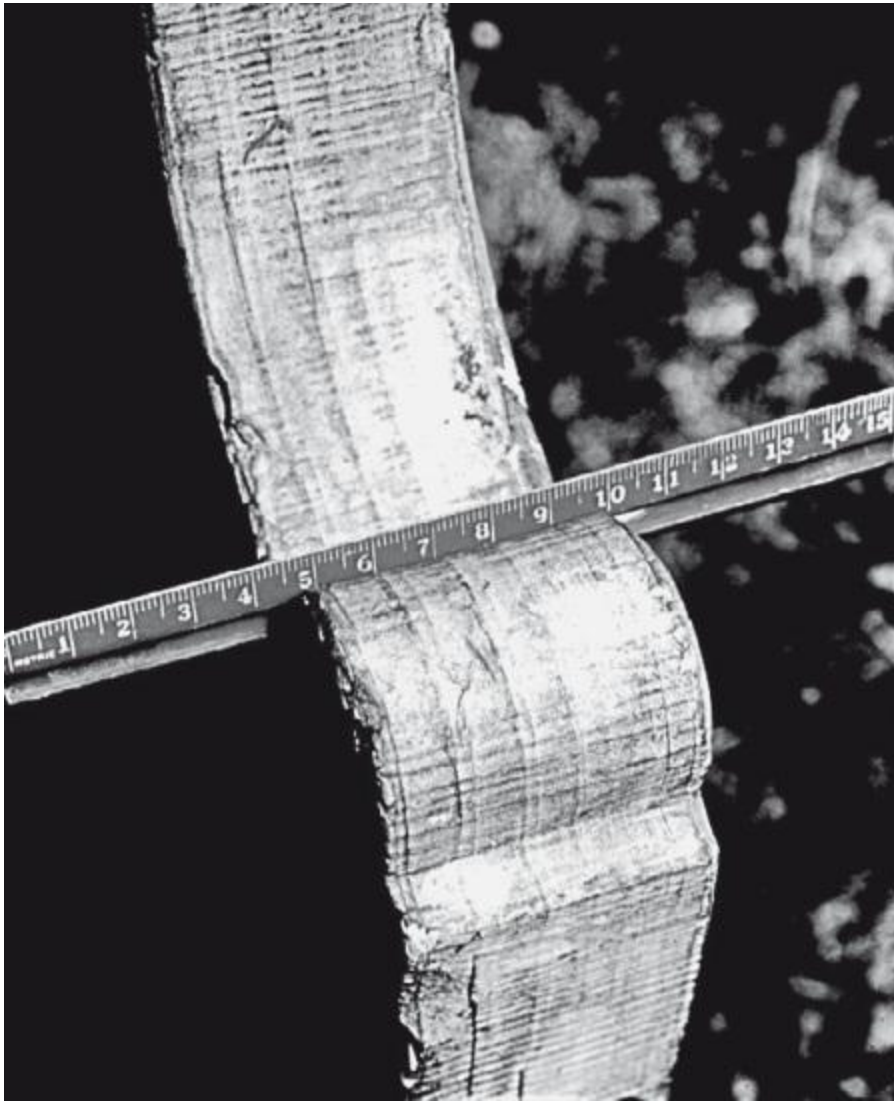
Функционирование организма подчиняется суточному ритму.

Учитывая связь функционирования ДНК и деления клеток с биологическими часами, не приходится удивляться, что некоторые лекарства эффективнее в определенное время суток – это обусловлено уровнем интенсивности света, воспринимаемого мозгом. Таким образом, на нашу предрасположенность к заболеваниям, как и на лечение, влияет катаклизм, произошедший на нашей планете более четырех с половиной миллиардов лет назад.

На кладбищах в южной части штата Индиана можно найти могилы европейцев, осваивавших эту территорию в конце XVIII века. То были смелые люди, о чьей непростой жизни повествуют надгробные плиты. Немногие преодолевали сорокалетний рубеж, и если судить по датам на памятниках, долгое время кладбища были весьма посещаемым местом. Природа распорядилась так, что для надгробных плит поселенцы нашли практически идеальный материал. Надписи, выбитые в начале XIX века на

мелкозернистом, твердом камне, выглядят так, будто их выполнили вчера.





В могильных камнях отразилось изменение ритма приливов и отливов.

Мы привыкли изучать надписи на могильных плитах и практически не обращаем внимания на сами плиты, а ведь они тоже могут рассказать много интересного. Надгробные плиты на могилах первых европейских поселенцев Индианы имеют неровные боковые поверхности. Материал был добыт в карьере близ города Хиндостан. В этом месте можно увидеть, как формировались горные породы. Земля вращается вокруг своей оси, а Луна вращается вокруг Земли, и уровень воды то поднимается, то опускается. Сотни миллионов лет назад эта часть Индианы лежала на дне. Год за годом приливы и отливы образовывали слои отложений, и по следам на камнях можно проследить их годовую амплитуду. На краях могильных плит запечатлен ритм приливов и отливов, происходивших в те времена, когда Земля вращалась быстрее, а дни были короче, чем теперь. И люди, и планета оставили отметки на камнях. Так что и тела покойных, и камни на их могилах имеют общую историю, связанную с вращением и соударением небесных тел.

## **Глава 5**

### **От малого к большому**

//-- 2,4 миллиарда лет --//

Около 4,6 миллиарда лет назад юное Солнце вытолкнуло материю нашей будущей планеты на нынешнюю земную орбиту. Катаклизм, подаривший нам Луну, был далеко не единственным. Если судить по возрасту лунных кратеров и обнаруженных на Земле обломков метеоритов, такие столкновения происходили достаточно часто. Период относительного затишья наступил около 3,9 миллиарда лет назад.

Здесь кроется загадка, долгое время ставившая ученых в тупик. В самых верхних, молодых слоях горных пород содержатся окаменелости – раковины и кости, которые можно увидеть в любом музее естественной истории. А в более глубоких и древних слоях нет ни костей животных, ни спор растений – нет вообще никаких остатков жизни. И это лишенное признаков жизни основание гор – не тонкая прослойка, а многокилометровые слои. Вся история человечества, да и вообще вся история жизни на Земле, уместилась в тонком верхнем слое земной коры. Если историю планеты сжать в один календарный год, то можно сказать, что до середины ноября (около четырех миллиардов лет) Земля была необитаемой. Для Чарльза Дарвина это внезапное появление жизни было “необъяснимой загадкой”. Ответ на эту загадку, а также объяснение происхождения современного мира пришли из совершенно неожиданного источника.

Сталелитейные заводы города Гэри в Индиане напоминают гигантские скелеты древних животных. В 50-х годах XX века эти заводы поддерживали автомобильное производство, активно развивавшееся на Среднем Западе. Америке нужно было железо, и Стэнли Тайлер, подобно многим геологам, изучал железосодержащие руды региона. Поскольку в этой местности железо обычно содержится в самых старых породах, в поисках руды геологи чаще всего обращали внимание на основания гор. Тайлеру было известно, что эти камни могут оказаться полезными для геологов, но неинтересны для палеонтологов.

В середине 50-х годов Тайлер изучал образцы, собранные им в глубокой шахте на севере Мичигана. Образцы камней, поднятые с разных глубин, были перевезены в лабораторию в Мэдисоне, штат Висконсин. Тайлер перемалывал каждый образец в порошок и наносил на предметное стекло микроскопа для изучения тонкой структуры минералов и зерен. Сидя за микроскопом, Тайлер занимался обычным делом, а именно описывал цвет, размер зерен и состав каждого образца, что составляет рутинную, но необходимую часть любого геологического исследования.

На одном из стекол Тайлер вдруг обнаружил нечто очень знакомое, но совершенно неуместное в данных образцах – уголь. Он знал, конечно, что уголь представляет собой остатки древних растений и что большая часть угля в то время была обнаружена в слоях горных пород не старше трехсот пятидесяти миллионов лет, когда на Земле активно развивалась растительность. Однако возраст горной породы из Мичигана был совсем другим: ей было почти два миллиарда лет!





Элсо Баргхорн

Тайлер передал образцы другим экспертам. В итоге они попали в руки Элсо С. Баргхорна – куратора отдела ранних растений в Гарвардском музее сравнительной зоологии. Изучив образцы под микроскопом, Баргхорн немедленно подтвердил догадку Тайлера: это были остатки самых ранних из известных на тот момент живых организмов – углеобразующих водорослей и других микроорганизмов.

Это открытие вызвало новые вопросы. Чем дальше Баргхорн разглядывал образцы Тайлера, тем больше древних видов он обнаруживал. В каждом образце было множество спор, филаментов и остатков тысяч одноклеточных животных. Основания гор нашей планеты вовсе не лишены признаков жизни: они буквально переполнены ими!

Теперь “необъяснимая загадка” состояла не в отсутствии жизни, а в невероятном многообразии живых организмов, прежде скрытых от наших глаз. Когда на планете появилась жизнь? Как выглядели первые живые существа? Поиск ответов на эти вопросы и попытки обнаружить другие древние организмы привели к возникновению нового раздела палеонтологии, занимающегося изучением микроскопических окаменелостей в горных породах, возраст которых составляет миллиарды лет.

Охота за столь древними окаменелостями связана с целым рядом трудностей. Горные породы такого типа с высокой вероятностью давно подверглись эрозии, изменились под действием внутреннего жара Земли и других факторов. Но допустим, что вы нашли породу нужного типа. На основании чего вы можете утверждать, что микроскопический пузырек или прожилка в образце – это остатки живых существ, а не вкрапления минерала?

Поиск ранних форм жизни основан на привлечении разного рода доказательств – от формы и структуры образцов до их химического состава. Древние организмы не просто выглядят как одноклеточные существа, но и имеют химические следы метаболизма.

Тайлер, Баргхорн и их последователи нашли в камнях доказательства: возраст старейших из известных окаменелостей превышает 3,4 миллиарда лет. Жизнь возникла на ранних этапах развития нашей планеты и стала быстро распространяться в форме бактерий, водорослей и их родственников.

Несмотря на невероятное разнообразие, организмы, преобладавшие на планете в первые миллиарды лет, обладали общим признаком: все они имели микроскопические размеры и состояли всего из одной клетки. Некоторые из них склеивались, образуя колонии, однако ни один организм на Земле в первые три миллиарда лет ее существования не превышал по размеру зернышко риса. Крупным организмам еще только предстояло появиться.

### **Через увеличительное стекло**

“Мертва!” – прокричал Томас Барбур, директор Гарвардского музея сравнительной зоологии, глядя на тельце лягушки в траве у своих ног. Над головой Барбура, на крыше пятиэтажного здания, стоял его коллега, профессор Филип Дж. Дарлингтон, с ведром. Он доставал из ведра лягушек и бросал вниз.

Когда очередная лягушка ударялась оземь и замирала, Барбур кивал. Наконец Дарлингтон спустился с пустым ведром и поинтересовался, как животные перенесли встречу с землей. Барбур кивнул на лягушачьи тушки: “Все мертвы”.

Дарлингтон был исследователем старой закалки: в свободное от преподавания в Гарварде время он отправлялся в джунгли на поиски новых видов животных – особенно жуков. О его похождениях рассказывают легенды. Однажды его схватил крокодил и утащил на дно реки, но Дарлингтону удалось отбиться. Истерзанному ученому пришлось совершить дальний переход за помощью. В тот же день он написал жене, что “встретился с крокодилом”.

В то время, в 30-х годах XX века, шли дебаты по поводу механизмов расселения животных по планете. Тогда еще не знали о движении литосферных плит. Существовали две основные точки зрения, объяснявшие распространение животных: либо раньше между материками имелись “мосты”, что позволяло животным перебираться с одного места на другое, либо животные перемещались благодаря воде и ветру. Дарлингтон яростно отстаивал вторую гипотезу, а его начальник Томас Барбур склонялся к первой.

Эксперимент с лягушками (сейчас нам даже трудно себе такое представить) был проведен с целью проверки одной из гипотез. За кофе в послеобеденные часы в музее двое ученых поспорили и наконец заключили пари. Барбур утверждал, что животные не могли перемещаться с помощью ветра, поскольку при ударе о землю они погибают. Дарлингтон возражал, что ветер может переносить мелких животных на значительное расстояние. Решили проверить теорию экспериментально.

А что же с мертвыми лягушками? Через несколько минут они ожили. В траве прыгало множество лягушек. Дарлингтон доказал справедливость своей гипотезы.

Конечно, в том, что лягушки не разбились, нет ничего сверхъестественного. Это связано с размером животных. Более легкие животные при падении ускоряются медленнее, чем тяжелые, потому что сталкиваются с более сильным сопротивлением воздуха в расчете на

массу. Описывая это явление, один из основателей эволюционной генетики Джон Бердон Сандерсон Холдейн заметил: “Можно сбросить мышь в шахту глубиной тысячу ярдов, и... оправившись от легкого шока, она убежит. Крыса погибнет, человек разобьется, а от лошади останется мокрое место”.

Представьте себе, что вы хотите предсказать свойства некоего животного (сколько долго оно живет, как передвигается, какова форма его тела), которого вы никогда не видели. Для этого нужно учесть несколько параметров: способ питания, условия обитания, положение в пищевой цепи и так далее. Люди используют этот подход, занося в каталоги измеряемые параметры животных и анализируя данные с помощью ряда статистических инструментов (это позволяет выявить наиболее значимые параметры, определяющие видимые различия). Выясняется, что важнейшим предсказательным параметром является размер животного. Если вам известен размер животного, вы многое сможете сказать о его физиологии: частоте сердечных сокращений в покое (у мелких животных сердце бьется чаще), чувстве опасности (чем крупнее животное, тем меньше страха оно испытывает) и даже продолжительности жизни (крупные животные нередко живут дольше).

Буквально все проявления внешнего мира воспринимаются нами в соответствии с нашим размером, включая оценку размера как такового. Размер и форма зрачков, глазных яблок и хрусталиков определяют остроту зрения, так же как форма и структура различных элементов слухового аппарата определяют частоту воспринимаемого звука. Поскольку в прошлом мы были вынуждены спасаться от хищников и отыскивать добычу, человек похож на радиоприемник, настроенный на узкий диапазон длин волн: значительная часть окружающего мира остается скрытой от нас. Чтобы расширить восприятие, ограниченное нашей биологией, нужно научиться иначе воспринимать свой размер и самих себя.

Антони ван Левенгук (1632–1723) долгое время торговал тканями, и для определения качества товара ему были нужны увеличительные стекла. Очарованный свойствами стекла, он придумал новые линзы, увеличивавшие объекты гораздо сильнее тех, которыми пользовались коллеги. Он вновь и вновь изменял форму стекла и с каждым разом видел все более мелкие объекты, в итоге добившись двухсоткратного увеличения. Каждое новое стекло позволяло увидеть мир чуть иным.

Левенгук тщательно берег свой секрет изготовления линз. Несколько столетий считалось, что он добивался тонкости стекла полировкой. В 1957 году в журнале “Сайентифик американ” появилась статья о том, что для изготовления линз Левенгук нагревал стеклянные палочки и растягивал их в стороны, так что они разрывались в самом тонком месте. При повторном нагревании на обломанных концах палочек образовывались крошечные шарики. Левенгук отделял шарик от палочки и вставлял его в оправу, с помощью которой стеклышко и образец удерживались на нужном расстоянии. Такое изогнутое стекло обладало свойствами лупы.

Левенгук рассматривал через лупу абсолютно все. Как известно, однажды он исследовал под микроскопом зубной налет изо рта одного пожилого господина. В нем Левенгук обнаружил “невероятную компанию ловко плавающих анималькулей... Их было так много, что слюна казалась живой”. Считается, что это одно из первых описаний бактерий. Левенгук рассматривал воду из пруда и обнаружил множество форм жизни (от водорослей до микробов), а позднее записал, что в человеческой сперме содержатся маленькие существа, похожие на головастиков.

Толпы любопытных набивались в кабинет Левенгука в Делфте, чтобы посмотреть на

чудеса. Так люди впервые увидели незнакомый новый мир. На протяжении тысячелетий все человеческое знание концентрировалось вокруг мира, доступного нашему зрению, слуху и осязанию. Позволив нам выйти за пределы, ограниченные биологической наследственностью, Левенгук показал, что мы являемся одними из крупных созданий среди бесчисленного множества микроскопических существ.



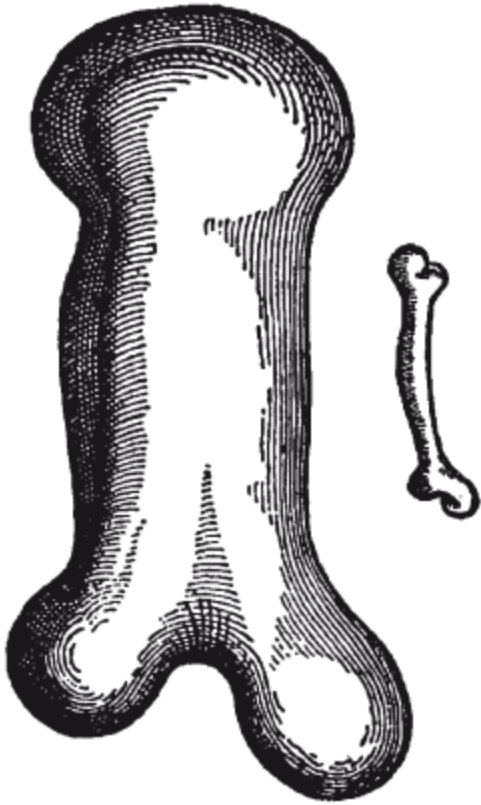


### Антони ван Левенгук и его микроскоп

Всего за несколько десятилетий до экспериментов Левенгука с микроскопом Галилео Галилей (1564–1642) занимался противоположной задачей: он шлифовал стекла для изготовления телескопа. Самый мощный телескоп того времени, эквивалент сегодняшнего бинокля, позволил Галилею изучить фазы Венеры, увидеть вращающиеся вокруг Юпитера спутники и обнаружить на небе гигантские туманности.

Левенгук пытался с помощью микроскопа разглядеть микроскопический мир. Галилей глядел на небо и видел гигантский мир с невероятно огромными планетами и невообразимыми расстояниями. Взглянув на мир глазами Левенгука, мы были неприятно поражены обилием микроскопической жизни вокруг и внутри нас, а взглянув глазами Галилея, обнаружили, что вокруг нас и над нами существует другой необъятный мир. Этим переосмыслением мы обязаны новому способу использования стекол.

В 1633 году, спустя двадцать лет после создания телескопа и описания вращения тел Солнечной системы, Галилей был обвинен в ереси и приговорен к пожизненному тюремному заключению. Ученому было уже семьдесят лет, и поэтому ему разрешили находиться под домашним арестом – сначала в Сиене, а потом в его собственном доме во Флоренции. Пять лет, будучи в заключении, Галилео писал труд по физике. Ему запретили печататься в Италии, поэтому голландский издатель Луис Эльзевир тайно вывез рукопись из страны.



Галилей и его рисунок: сопоставление костей слона и мыши.



Книга Галилея совершенно не похожа на современный научный текст: она представляет собой изложение беседы трех вымышленных персонажей, обсуждающих фундаментальные законы Вселенной. Их разговор передает красоту математики, описывающей окружающий нас мир. На второй день беседы эти трое начинают обсуждать законы, определяющие форму предметов. Что происходит с предметами по мере увеличения их размера? Чем мелкие предметы отличаются от крупных? Рассмотрим, говорят персонажи Галилея, деревья: невысокие могут иметь довольно тонкие стволы, но у высоких пропорции совсем иные. При одинаковых свойствах древесины, чтобы не гнуться и не ломаться, высокие деревья должны иметь пропорционально более толстые стволы, чем низкие деревья. Это простое соответствие между формой и размером распространяется на многие объекты вокруг. Посмотрите на литографию из книги Галилея. Бедро мыши и бедро слона во многих отношениях схожи: оба костяные, в обоих одинаковые суставы. Но бедренная кость слона пропорционально толще кости мыши. Как и в примере со стволами деревьев, более крупный размер требует новой формы. Этот закон справедлив для динозавров и для слонов, так же как для мостов и зданий. И, как определил Галилей, закон этот объясняется тем, что более крупным объектам приходится иметь дело с более значительной силой тяготения.

Галилей предположил, что силы гравитации, определяющие положение орбит небесных тел, влияют и на органы растений и животных. Тела притягиваются к Земле с силой, пропорциональной их массе. Более крупные создания притягиваются сильнее и поэтому вынуждены менять форму, чтобы поддерживать самих себя. Эта закономерность объясняет, кроме прочего, эксперимент Дарлингтона с лягушками. Легкие животные меньше ускоряются при падении, чем тяжелые. Сила земного притяжения играет в жизни таких крупных существ, как мы, чрезвычайно важную роль.

Но для существ, которых Левенгук разглядел под микроскопом, гравитация не так важна. Взгляните на муху или муравья на стене. Сила притяжения Земли, действующая на муху, ничтожна. Для мухи гораздо важнее силы взаимодействия между молекулами. Она удерживается на стене по той причине, что для легкого существа эти силы взаимодействия пропорционально гораздо более значительны, чем земное притяжение. А теперь представьте бегемота на стене: притяжение Земли намного превосходит силу взаимодействия поверхности его ног с поверхностью стены. Никакие молекулярные “липучки” не способны удержать на стене бегемота.

Мы сравнительно крупные существа и в будничной жизни редко задумываемся о межмолекулярном взаимодействии. Мы можем держаться на воде и чувствуем, что вода плотнее воздуха. Но если бы мы были маленькими существами, например, жуками длиной в четверть дюйма, то именно эти силы играли бы определяющую роль в нашей жизни: плавание в воде превратилось бы в плавание в желе. Поверхность воды приобрела бы совсем иное значение. При нашем нынешнем весе мы можем донырнуть до дна бассейна. А жук может буквально ходить по поверхности воды.

В 1968 году Фритс У. Вент опубликовал в журнале “Сайентифик американ” ставшую классической статью о значении размера человеческого тела. Он задался, казалось бы, абсурдным вопросом: может ли муравей начать рабочий день как человек? Заметьте, Вент не был чудачком. Он открыл важнейший растительный гормон, был членом Национальной академии наук США, работал в Калифорнийском технологическом институте, а позднее возглавлял ботанический сад в Миссури, да и вообще был одним из образованнейших людей своего времени. Очевидный ответ на вопрос Вента основан на множестве глубоких

биологических принципов. Например, муравей не мог бы принять душ, поскольку капли воды для него сравнимы с пушечными ядрами. Он не мог бы выкурить утреннюю сигарету (статья была напечатана до сообщения Главного врача США о негативном влиянии курения на здоровье). Мельчайшая контролируемая частичка огня сопоставима с размером самого муравья. Прощание с женой и детками тоже выглядело бы по-другому. Способность слышать низкие тона – медленные вибрации воздуха – доступна лишь более крупным существам. Возможность выполнять работу тоже зависит от размера тела. Чтобы иметь мозг, пригодный для сложной умственной деятельности, планирования и памяти, существо должно обладать определенными размерами. Таким образом, из примера с муравьем становится ясно: многие из наших способностей – речь, использование орудий труда, конструирование машин, овладение огнем и так далее – возможны только благодаря тому, что наше тело имеет совершенно определенный размер. Наши возможности в значительной степени связаны с размером нашего тела.

Свыше миллиарда лет назад, когда наши предки перешли из микроскопического мира Левенгука в мир Галилея, они приобрели новые возможности. Они покинули мир, в котором правит межмолекулярное взаимодействие, и вошли в мир, в котором доминируют законы гравитации. Этот важнейший момент в нашем прошлом отразился в наших клетках, в камнях – и в том, как многие из нас умирают.

## **Воздух!**

Отпечатки дисков, полос и ветвей на 600-миллионнолетних камнях кажутся малопримечательной группой окаменелостей, но это впечатление обманчиво. Это следы, оставленные настоящими революционерами: организмами совершенно нового типа, прежде невиданными. Это первые организмы, тело которых состояло не из одной, а из многих клеток.

“Изобретение” тел изменило нашу планету. Максимальный размер одноклеточного организма зависит от расстояния, на которое могут диффундировать молекулы, а оно определяется законами физики. Эти ограничения определяют способ питания, дыхания и воспроизводства организма. У маленьких животных транспорт кислорода может осуществляться просто за счет диффузии. При увеличении размера появляется необходимость в новых механизмах доставки питательных веществ и удаления отходов метаболизма. Как это делается? Более крупные животные имеют специализированные системы циркуляции крови, выведения отработанных веществ и снабжения тканей кислородом. Сердца, жабры и легкие нужны только крупным животным. Появление этих специализированных органов меняет правила игры. Все это сложное оборудование позволяет животным становиться еще больше и реализовывать многие новые возможности, недоступные муравью.

Окаменелые остатки многоклеточных животных появляются в ископаемой летописи довольно внезапно, но, судя по тем данным, которые можно получить из анализа генома современных организмов, переход от одноклеточных организмов к многоклеточным готовился длительное время. В первые два с половиной миллиарда лет существования наша планета была лишена крупных существ. Около миллиарда лет назад в морях начали появляться отдельные виды многоклеточных организмов, в том числе растения, грибы и животные. Появление тел произошло не по волшебству. Набор молекулярных

инструментов – белков, жиров и других крупных молекул, позволяющих клеткам “склеиваться” и взаимодействовать – имеется не только у многоклеточных организмов. Варианты таких молекул встречаются и у маленьких одноклеточных существ, которые используют их для питания, перемещения и даже для передачи сигналов. Биологические механизмы, необходимые для “постройки” крупных существ, сформировались за миллиарды лет до того, как на планете появились сами эти существа.

Что же стимулировало этот процесс и позволило крупным существам воплотиться в реальной жизни? Ответ на этот вопрос опять-таки можно найти в горных породах, содержащих железо.

Невысокий, поджарый Престон Эрсель Клауд-младший (1912–1991) был одной из главных фигур в послевоенной палеонтологии. Окончив среднюю школу и имея тягу к путешествиям, он поступил на три года в ВМФ и стал чемпионом по боксу в легчайшем весе на Тихоокеанском флоте. Во время Великой депрессии он продолжил учебу и в итоге стал главным палеонтологом Геологической службы США. Он был чрезвычайно дотошным полевым исследователем и снискал уважение подчиненных. Проводя геологическое картирование, он нередко ползал по слоям горных пород, вглядываясь в них с расстояния в несколько сантиметров. Во время одного из таких походов в Техасе он в кустах можжевельника столкнулся буквально нос к носу с крупной гремучей змеей. Один из его коллег вспоминал: “Прес не из тех, кого легко напугать. После нескольких минут взаимного изучения змея уползла”.



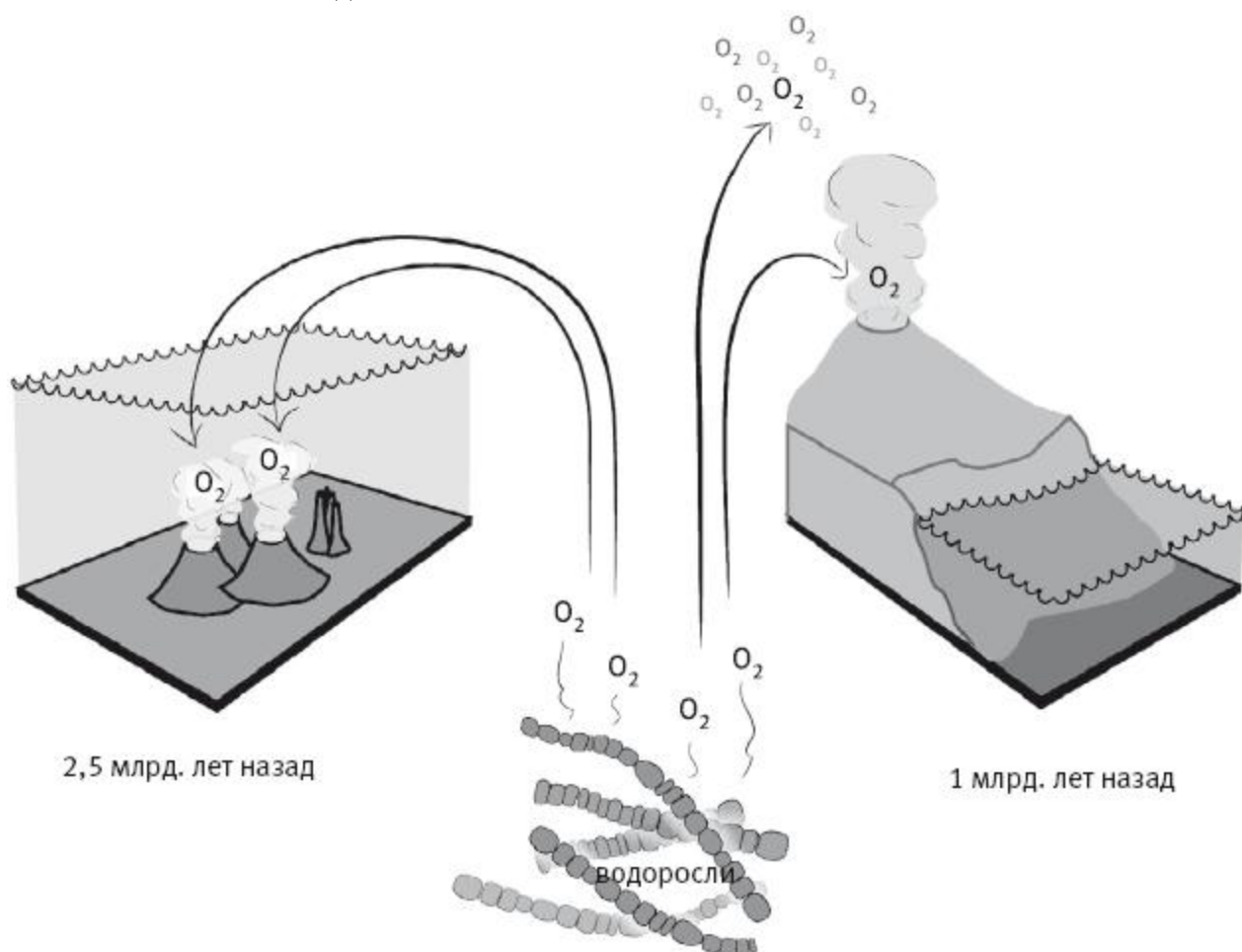
Престон Клауд

У Клауда был особый талант: на основании детального рассмотрения слоев породы он мог восстановить общую картину событий. В его глазах планета представляла собой одну большую систему, в которой история жизни и изменение климата, океанов и континентов складывались в единое целое.

И если поиски железа привели к обнаружению первых живых существ, то само железо позволило понять их связь с планетой. Богатые железом слои горных пород начали появляться на всех континентах около двух миллиардов лет назад. В Австралии, Северной Америке и в Африке они образуют одинаковые красно-коричневые слоистые отложения. Каждый, кто хоть однажды оставлял в гараже влажные инструменты, знает: этот цвет связан с химическими свойствами железа. Железо взаимодействует с кислородом воздуха, и в результате образуется красно-коричневая ржавчина.

В самых древних породах планеты такой ржавчины нет. Четыре с половиной миллиарда лет назад, когда Земля образовалась, она сама являлась единственным существенным источником атмосферных газов. При извержении вулканов выделялись разнообразные газы, но только не кислород. Нам легче дышалось бы на вершине нынешнего Эвереста, чем на той древней Земле. Полосы ржавчины в более молодых слоях означают, что в атмосфере появился кислород.

Содержание кислорода в атмосфере определяется равновесием между процессами, в которых он образуется, и процессами, в которых он потребляется. Если вы откроете кран, но не заткнете ванну пробкой, уровень воды в ванне будет определяться скоростью притока и оттока. Скорость поступления кислорода в древнюю атмосферу определялась характером жизнедеятельности организмов. Большинство одноклеточных существ, живших в среде с низким содержанием кислорода, имело одну особенность. Если судить по их современным родственникам, они использовали фотосинтез. Фотосинтезирующие организмы превращают энергию Солнца в ту форму энергии, которую они способны использовать. Кислород им для этого не нужен, но они его производят. Единственным источником кислорода на первозданной Земле был тот же источник, что и сегодня – фотосинтезирующие организмы. Сегодня к этой группе организмов относятся также различные микробы и растения, но миллиарды лет назад это были только сине-зеленые водоросли. Именно их мы видим в камнях, которые разглядывали под микроскопом Тайлер и Баргхорн. Древние водоросли очень похожи на современные: у них есть клеточная стенка, они формируют колонии (от маленьких сгустков до грибоподобных образований). Именно водоросли, сотни миллионов лет синтезировавшие кислород, позволили Земле начать дышать.



Содержание кислорода в воздухе определяется балансом сил, которые его производят (метаболизм водорослей) и которые его потребляют (реакции в горных породах, в воде и в атмосфере).

Водоросли были источником кислорода в древней атмосфере. А кто же был его

потребителем? Некоторые молекулы в атмосфере могут связывать кислород, образуя новые соединения. Например, подводные вулканы выбрасывают газообразные продукты, образующиеся при плавлении минералов на океаническом дне. Эти газы связывают кислород, удаляя его из воздуха. Таким же свойством обладают и другие реакции между минералами, водой и воздухом. Одна из гипотез, объясняющих повышение содержания кислорода в атмосфере, заключается в том, что около двух миллиардов лет назад произошло серьезное географическое изменение, приведшее к уменьшению площади океанов и числа подводных вулканов, газообразные продукты деятельности которых связывают кислород. При наличии водорослей, производящих кислород, и исчезновении механизмов его потребления уровень кислорода постепенно повышался.

Клауд смог в единой теории соединить все наблюдения: и полосы железа, и водоросли, производящие кислород, и появление крупных существ. Его теория вытекает из самой структуры атома кислорода. Кислород охотится за электронами, поскольку на его внешней электронной оболочке недостает двух электронов. На этом основан механизм действия домашних “электростанций” наших клеток – митохондрий, а также аэробных бактерий. В некоторых реакциях метаболизма, таких как дыхание, используется каскад передачи электронов между молекулами, причем на каждой стадии переноса электрона энергия либо запасается в новой форме, либо высвобождается. Чем больше вокруг свободного кислорода, тем больше топлива доступно живым существам.

Клауд также знал, что большие существа тратят больше энергии. Для синтеза коллагена и других белков, из которых состоит значительная часть нашего тела, нужно много энергии. Рост тела и поддержание его функций требуют более эффективных механизмов превращения энергии.

Ответить на многие вопросы о связи уровня кислорода с жизнью животных помогли наблюдения, сделанные еще в 1919 году одним из основоположников физиологии Шеком Августом Стинбергом Крогом (1874–1949). Он изучал физические и химические законы, определяющие физиологию животных. Один такой закон он открыл, исследуя зависимость между свойствами воды и живущими в ней существами. Размер тела примитивных морских существ, не имеющих сложной системы циркуляции или пищеварения, зависит от количества кислорода в воде. В среде с низким содержанием кислорода невозможно вырасти большим. При повышении уровня кислорода в воде увеличивается и размер ее обитателей.

Престон Клауд понял, что повышение содержания кислорода и связанные с ним новые механизмы превращения энергии открыли новые возможности развития жизни. Именно с кислородом связано возникновение крупных существ: он явился движущей силой, которая позволила осуществить переход от микроскопических существ, живущих в мире межмолекулярного взаимодействия, к новым, крупным существам. Но кислород принес и новые опасности.

Любое изменение – это палка о двух концах. Химическая природа кислорода, которая объясняет его высокую эффективность в производстве энергии, может превратить его в яд. Кислород отбирает электроны у других атомов. При этом выделяется энергия и образуются новые соединения. Эти соединения способны разрушать клетки и повреждать ДНК. На этом свойстве кислорода построен ряд теорий старения и патологических процессов в организме. Когда вы принимаете антиоксиданты вроде витамина С, вы пытаетесь подавить негативное воздействие этих кислородсодержащих молекул.



Жизнь крупного существа в богатой кислородом среде сопряжена и с другими трудностями. В теле человека примерно два триллиона клеток и тридцать тысяч генов, которые функционируют как единое целое: все органы, ткани и гены работают слаженно, обеспечивая целостность организма. Равновесие между отдельными частями определяется прямым и опосредованным взаимодействием клеток. Когда мы здоровы, каждый орган тела “знает”, что ему делать. Клетки делятся и гибнут, но его форма и размеры остаются прежними. Глаза у всех людей примерно одинаковой величины, как и большие пальцы рук и ног. Селезенка и печень тоже имеют строго определенный размер. Это равновесие необходимо для нормального функционирования многоклеточного организма.

Механизм сохранения этого равновесия стал понятен в ходе изучения необычных дрозофил. В одной из исследовательских лабораторий Университета им. Джона Хопкинса в колонии дрозофил были обнаружены особи с очень крупными глазами – в пять раз крупнее обычных. Генетики стали изучать гены этих мутантов. Они выделили ДНК соответствующего гена, изучили ее функции и выяснили, что она участвует в серии реакций, останавливающих клеточный рост. Ограничение роста клеток за счет снижения скорости их деления или активации клеточной смерти является неотъемлемым условием гармоничного развития тела.

Зная структуру гена дрозофилы, ученые из Университета им. Джона Хопкинса смогли обнаружить тот же ген у мыши и человека. Мало того, что вариант гена дрозофилы есть и у млекопитающих: его мутации тоже приводят к изменению размера органов. Ген работает примерно одинаково у дрозофил, мышей и людей, участвуя в цепи реакций, поддерживающих равновесие между частями тела. Например, мутация этого гена у мыши может привести к увеличению печени в пять раз по сравнению с нормой.

Однако мутации таких генов могут иметь и другие последствия: они способствуют развитию рака. Если клетки не перестают делиться или не погибают в назначенное время, они могут разрастаться и образовывать опухоли. Таким образом, гены, позволяющие нашему телу достигать больших размеров, способны причинить и вред.

Престон Клауд и его единомышленники увидели гармоническую связь нашей планеты и населяющих ее существ. Взаимодействие между Землей и ее обитателями привело к повышению концентрации кислорода в атмосфере. Кислород, в свою очередь, изменил мир, обеспечив существование крупных многоклеточных организмов. Жизнь изменяет Землю, Земля изменяет жизнь, и все мы, живущие на планете, несем на себе следы этих процессов.

## **Глава 6**

### **Соединяем точки**

//-- 200 миллионов лет --//

Пятьсот тридцать миллионов лет назад Земля еще выглядела непривычно для нас. Даже дышать тогда было так же трудно, как сейчас взбираться на Эверест без кислородной маски. Самым подходящим для жизни местом была вода. В океане появились новые виды мягкотелых животных. Суша представляла собой бесплодную пустыню без почвы и каких-либо растений. Если бы вы отправились в путешествие по этой странной земле, то

могли бы прийти от того места, где расположен Бостон, до Австралии, не увидев океана.

Современный мир образовался в результате изменения гор, воздуха, воды и живых существ. Но, как показывает история возникновения кислорода, эти элементы не существуют независимо друг от друга. История Земли – продукт взаимозависимой эволюции планеты и ее обитателей. Чтобы научиться видеть эти связи, следует начать с составления карт. Они показывают, где мы находимся, как выглядит мир и, если использовать их во временной развертке, позволяют обнаружить связи между океанами, горами и органами нашего тела.

Как знают все родители, дети склонны находить закономерности во всем. Возьмите карту мира, покажите ее семилетнему ребенку и попросите его описать то, что он видит: не называть различные регионы, а описать форму материков, островов и океанов. Почти наверняка ребенок обнаружит, что отдельные части суши подходят друг другу: например, очертания восточного берега Южной Америки и западного берега Африки почти совершенно совпадают.

Однако еще сорок лет назад подобные мысли воспринимались как ересь. В младшей школе у меня был учитель, который рассказывал ученикам о популярных в 60-х годах псевдонаучных идеях. Одна из идей заключалась в том, что египетские пирамиды, рисунки на плато Наска в Перу и статуи острова Пасхи были возведены пришельцами из космоса, регулярно навещавшими нашу планету. Лично я, как и многие другие школьники, находил эту идею занятной (в конце концов, об этом постоянно рассказывали по телевизору). Задача моего учителя заключалась в том, чтобы показать, что подобные идеи, какими бы забавными и привлекательными они ни казались, практически невозможно проверить и доказать. К таким же фантастическим идеям он отнес и гипотезу о движении континентов. Происходило это в 1972 году. К сожалению, мой учитель мало что знал о великой научной революции, начавшейся за сто двадцать лет до этого.

В 1856 году братья Уильям и Генри Бленфорды приехали в Индию для изучения месторождений в известном угольном бассейне возле города Талчер. (Кстати, уголь здесь добывают до сих пор.) Как и все геологи, Бленфорды не только изучали залежи угля, но и анализировали то, что находится над и под ними. Один из слоев оказался необычным: он состоял из крупных, неправильной формы валунов, некоторые из которых были размером с человека. Еще более странным было то, что при ближайшем рассмотрении на камнях этих обнаружили сколы и срезы. Если бы такие камни нашлись в Альпах или в Арктике, это означало бы, что их переместил ледник. Но здесь, под слоями угля, в экваториальной Индии?

Кроме того, оказалось, что слой валунов не заканчивался в Индии. Вскоре после открытия Бленфордов та же последовательность горных пород была обнаружена в Южной Африке: слой угля и слой сколотых камней. Означает ли это, что в отдаленном прошлом в Южной Африке и в Индии были ледники? Как сюда попал лед?

Эдуард Зюсс (1831–1914) родился в Лондоне. Позднее его семья переехала в Вену. Там Зюсс занялся геологией. Он успешно учился, стал профессором и членом городского совета Вены. На этом посту он использовал свои познания в геологии на пользу обществу – организовал строительство водопровода для подачи в город чистой воды с гор. Возможно, тем самым он спас от тифа множество людей, поскольку прежде вспышки заболевания случались здесь регулярно.

Свое мнение о важности изучения горных пород Зюсс высказал в 1903 году на международном конгрессе по геологии. Он так описывал работу геолога: “Камень, по которому ударяет его молоток, – ближайший кусочек планеты... История этого камня – отрывок истории планеты, а... сама история планеты – лишь очень малая часть истории огромного, удивительного и постоянно изменяющегося Космоса”. Для Зюсса каждый камень, если его правильно рассматривать, может открыть окошко в огромный мир, простирающийся бесконечно далеко во времени и в пространстве.

Если придерживаться такой философии, то камни и окаменелости приобретают иной смысл. Примерно за десять лет до строительства водопровода Зюсс заинтересовался странным ископаемым растением, листья которого напоминают коровий язык. Это растение, названное глоссоптерисом (*Glossopteris*; от лат. “язык” и “папоротник”), представляло собой настоящую загадку.





Глоссоптерис

Как часто бывает, целое растение практически никогда не сохраняется в виде окаменелостей, поэтому о его внешнем виде приходится судить по отдельным фрагментам листьев, веток, корней и стволов. Это занятие напоминает составление трехмерного пазла из неполного набора фрагментов. Во времена Зюсса уже было понятно, что глоссоптерис – странное растение: у него была мягкая древесина, что делало его похожим на хвойное растение или папоротник, и при этом он обладал органами с семенами. Если судить по отдельным фрагментам, глоссоптерис мог достигать тридцатиметровой высоты и имел заостренную форму, почти как новогодняя елка.

Зюсс обратил внимание, что странность этого растения заключается не в строении



листьев, а в том, в каких камнях оно встречается. Горные породы, содержащие отпечатки глоссоптериса, были обнаружены во многих местах в Южной Африке и Индии, а также в Австралии и Южной Америке. Для Зюсса это означало следующее: в отдаленном прошлом, пока океан не поднялся, эти континенты были единым целым.

С глоссоптерисом связано как открытие, так и трагедия. В 1912 году Роберт Ф. Скотт с четырьмя спутниками предпринял попытку добраться до Южного полюса, но, придя туда, обнаружил, что норвежская экспедиция Руаля Амундсена на несколько месяцев опередила его. Фотографии передают состояние людей. Они ослаблены долгим переходом, а на их лицах отражаются усталость и разочарование – они сняты на фоне флага и палаток, установленных норвежской экспедицией. В дневниках Скотта описаны трудности обратного пути: им приходилось тянуть тяжелые сани. Они теряли последние силы, пытались дотащить тяжелый груз. Роберт Скотт, Генри Бауэрс и Эдвард Уилсон умерли в своей палатке в марте 1912 года. Их тела были найдены через восемь месяцев, когда кончилась зима. Рядом с телами лежал груз камней и окаменелостей весом пятнадцать килограммов. Когда эти образцы были доставлены в Британский музей, важность находки подтвердилась. В сотне миль от Южного полюса, в основании ледника Бирдмора экспедиция обнаружила глоссоптерис. Зюсс не знал об этом, но этот факт означает, что Антарктида тоже была частью большого южного континента.

Беспокойным немецким метеорологом Альфредом Л. Вегенером двигали две страсти: он желал изучить погоду над ледниковым щитом Гренландии и географию Земли. Он начал карьеру в 1911 году в составе одной из первых научных экспедиций в Гренландии [3 - Первая научная экспедиция в Гренландию (Вегенер участвовал в ней в качестве метеоролога) состоялась в 1906–1907 годах.], во время которой пересек пешком весь ледник.

Там же, на острове, он и погиб в 1930 году, спеша на помощь коллегам.





Альфред Вегенер в своей

стихии

Вегенер предположил, что континенты когда-то были объединены в гигантский суперконтинент. После он раскололся, и континенты разошлись, образовав океаны и береговые линии, которые мы видим сегодня. Первая трещина, очевидно, прошла между северной и южной частями суперконтинента. Южная часть включала нынешние Африку, Южную Америку, Австралию, Индию и Антарктиду.

Это предположение позволило ответить на многие вопросы. Чем объяснить сходство растительности южных континентов?

Тем, что раньше они были частью единого целого. Откуда взялись ледники в экваториальной Индии? Индия не всегда была на экваторе: со временем она переместилась со своего прежнего места, которое находилось ближе к полюсу. Почему береговые очертания материков так подходят друг к другу? Потому что миллионы лет назад они были одним континентом.

Какова же была реакция на эту грандиозную объединяющую идею Вегенера? Геологи, работавшие на южных континентах и в Европе, знакомые с распределением глоссоптериса и сходством геологических структур Африки, Индии и Южной Америки, отнеслись к гипотезе Вегенера благосклонно. Североамериканцы смотрели на этот вопрос совершенно иначе. Один из моих предшественников в Чикагском университете в 1920 году так прокомментировал состояние дел: “Гипотеза Вегенера в целом весьма смела – в

том смысле, что она достаточно вольно обращается с нашей планетой и в гораздо меньшей степени связана ограничениями и неудобными фактами, чем альтернативные теории”.

Критики Вегенера признавали, что береговые линии континентов складываются, как фрагменты пазла, но считали это сходство скорее случайным. Они не представляли себе, какая сила могла бы привести в движение континенты. Могли ли континенты бороздить океаническую кору, подобно ледоколу, продирающемуся сквозь ледовые поля? Никакие научные данные не могли этого подтвердить. Все, что было известно о структуре океанического дна, скорее говорило об обратном: дно океана казалось одним из самых спокойных и невыразительных мест на планете.

Конечно, большая часть планеты в начале XX века все еще оставалась неизученной. Примерно 70 % поверхности Земли скрыто океаном, и во времена Вегенера мы больше знали об обращенной к нам стороне Луны, чем о поверхности Земли.

### **На больших глубинах**

День 7 декабря 1941 года, когда японцы напали на Перл-Харбор, стал поворотным моментом в изучении устройства нашей планеты. Молодой геолог из Принстона Гарри Гесс был призван на военную службу. Он был моряком и поэтому 8 декабря прибыл в Нью-Йорк для прохождения службы на флоте. В штабе на Черчстрит его спросили, знает ли он что-нибудь о широте и долготе. Те, кто принимал его на службу, не подозревали, что за годы до этого Гесс участвовал в экспедициях, занимавшихся составлением карт океанического дна. По-видимому, ответ Гесса всех удовлетворил, поскольку его назначили старшим помощником капитана судна “Кейп Джонсон” – грузового корабля, в военное время перевозившего войска. Корабль отправился на юг Тихого океана и участвовал в битвах за Гуам и Иводзиму. Геолог Гесс все это время не забывал и о другой задаче, которую он сам поставил перед собой.

На борту было устройство, называемое эхолотом: простой радар, измеряющий глубину океана. Теперь существуют портативные версии таких приборов (например, рыбацкий эхолот), но во время войны это был прибор размером с небольшой холодильник, который был прицеплен позади корабля. Гесс нашел хороший способ заниматься наукой на войне: он просто оставлял эхолот работать, пока “Кейп Джонсон” занимался своими военными делами.

Это недорого обошлось дядюшке Сэму, зато оказало серьезное влияние на Гесса. На дне океана он обнаружил несколько невысоких гор с плоским верхом. Эти подводные плато сослужили науке службу через пятнадцать лет после войны, когда Гесс узнал о работе другого человека, жизнь которого также изменилась после Перл-Харбора.

В конце 30-х годов Мэри Гарп поступила в Университет Огайо в городе Атенс. Она не собиралась становиться геологом.



Гарри Гесс

Ее влекла обычная женская карьера медсестры или учительницы. Но ничего не получилось. Она боялась вида крови и поэтому оставила курсы медсестер, чтобы заняться преподаванием. Но и эта работа не слишком ее привлекала. Ее час пробил после 7 декабря, когда миллионы мужчин покинули свои рабочие места и ушли на войну. Геологический факультет Мичиганского университета нарушил давно сложившуюся традицию и стал приглашать на учебу девушек. Геология показалась Мэри ничем не хуже других наук, и она начала изучать Землю.

В конце 40-х годов, получив ученую степень, Мэри Тарп отправилась в Нью-Йорк на поиски работы. Ее первое место службы – в отделе палеонтологии Американского музея естественной истории – не обещало ничего заманчивого. Когда она поинтересовалась возможностью стать препаратором, готовящим образцы окаменелостей для анализа и демонстрации, ей сообщили, что на поиски и извлечение окаменелостей в горных породах уходит до двух лет. Позднее Тарп рассказывала, что “не могла себе представить, что можно столько времени тратить на подобные вещи”. Палеонтология проиграла, но геология выиграла: Тарп отправилась в Колумбийский университет на встречу с руководителем главной геологической группы университета Морисом Эвингом по

прозвищу Док.

Могучий техасец Док Эвинг был главным специалистом по составлению морских карт. Кончилась Вторая мировая война, и началась война холодная. Одно осталось без изменений: подводным лодкам необходимо было знать структуру морского дна. Служба военно-морских исследований организовывала экспедиции для изучения глубины и структуры морского дна по всему миру. Круглый год Эвинг отправлял экспедиции для сбора образцов, определения глубин и поиска другой информации. К нему стекалось такое количество данных, что ему нужен был человек, способный их регистрировать и наносить на карту. Тарп наняли первой. Позднее Эвинг взял на работу уроженца Айовы Брюса Хейзена, который стал ее руководителем. Хейзен быстро поднялся по служебной лестнице и получил место профессора Колумбийского университета, а Тарп осталась его ассистенткой.

Это были напряженные годы для геологов. Каждый месяц корабли Эвинга возвращались из неизведанных регионов с большим количеством данных. В центре всей работы были Тарп и Хейзен, структурировавшие информацию. Оба очень много работали и стали очень близки, хотя никто никогда так и не понял сущности их отношений. Хейзен был женат, но часто принимал студентов и коллег в доме Тарп, находившемся недалеко от лаборатории. Иногда они страшно ссорились, и Хейзен швырял рисунки Тарп в корзину для бумаг или извергал ругательства, нарушавшие обычную тишину коридоров. А иногда они выступали единой командой, защищая друг друга в отвратительных политических играх, которые шли в лаборатории. Их отношения были очень близкими, эмоциональными, но исключительно платоническими.



## Брюс Хейзен и Мэри Тарп

Однажды, после бесчисленных часов изучения доставленной кораблями информации о морских глубинах, Тарп обнаружила линейную гряду гор высотой больше километра, расположенную на дне Атлантического океана. Признаки существования таких горных хребтов появлялись и прежде, теперь же она проследила их по океаническому дну на протяжении шестидесяти тысяч километров. Такие хребты проходили, как выяснилось, буквально через все океаны планеты. Тарп заинтересовалась структурой этих гор. Вдоль вершины каждого хребта она обнаружила громадную долину – желоб, делящий хребет пополам. И стенки с двух сторон этой долины в точности соответствовали друг другу. Тарп почувствовала, что это означает: Земля раскрывалась по этому хребту, раздвигаясь на дне океана. Для нее это с очевидностью означало, что морское дно расширяется.

Хейзену не понравилось открытие Тарп, и он назвал ее идею “бабьим трепом”. Тем не менее он, как и Тарп, осознал значение открытия. По его мнению, расселина Тарп в центре морского дна “выглядела слишком похоже на дрейф континентов”. Если океан расширяется в центре и континенты раздвигаются, то, выходит, Вегенер был прав. Хейзен не мог с этим согласиться.

Однако факт оставался фактом: чем больше данных Тарп наносила на карту, тем очевиднее вырисовывался рифт. Хейзен сдался под напором новых данных, поступивших в последующие месяцы. Он не только поддержал идею Тарп, но и выдвинул амбициозный план построения карты всего океанического дна.

Примерно в это время Американская телефонная и телеграфная компания озаботилась проблемой недолговечности трансатлантических кабелей. Компания заключила контракт с лабораторией Эвинга, чтобы проанализировать ситуацию. Нанося на карту зоны сейсмической активности, Хейзен, Тарп и другие обнаружили странную закономерность. Землетрясения происходят вдоль определенной линии в океане. И не где-нибудь, а именно в середине рифтов, обнаруженных Тарп.

“Бабий треп” стал темой собрания экспертов, которое Хейзен проводил в 1957 году на геологическом факультете Принстонского университета. Среди слушателей был Гарри Гесс, теперь уже декан этого факультета. Выслушав доклад Хейзена о расщелинах Тарп и связанных с ними землетрясениях, Гесс поднялся и произнес: “Молодой человек, вы поколебали основы геологии”.





### Океанические горные хребты на карте Тарп и Хейзена

Гессу не мог не понравиться доклад Хейзена, поскольку сам он во время Второй мировой войны отмечал на карте подводные горы и они очень напоминали хребет, обнаруженный Тарп. Вблизи гребня горы были высокими, а по мере удаления эродировали. По мнению Гесса это означало, что горы, расположенные ближе к гребню, моложе, а те, что дальше – старше. Вместе с данными о расщеплении Земли вдоль хребтов это могло означать только то, что вдоль хребта образовывалась новая поверхность морского дна и что дно моря действительно расширилось.

Работа геологов в то время была делом трудным. Один двухметровый голландец, составляя карты морских глубин, провел в подводной лодке, скрючившись, несколько недель.

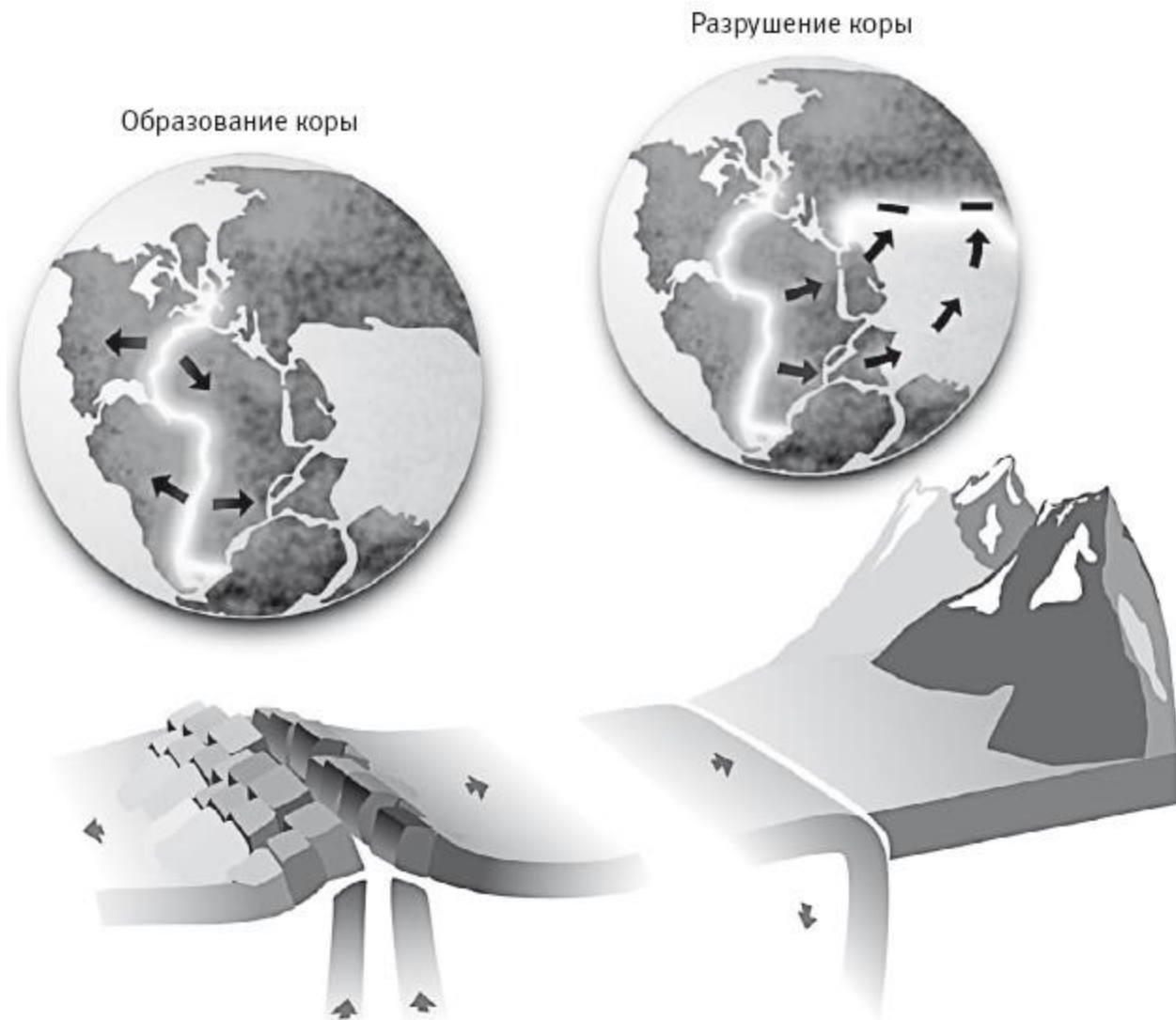
Британские, канадские, французские, голландские и японские ученые месяцами не покидали корабль, зарисовывая береговую линию, отмечая океанические горные хребты и впадины. Из всех точек Земли начали поступать новые данные. Стало проясняться и значение глубоководных желобов: они тоже являются местом тектонической активности, достаточно часто сопровождающейся выходом вулканической магмы на поверхность.

Сообщение Хейзена подвигло Гесса на теорию, объясняющую полученные наблюдения. Если вдоль подводных хребтов образуется новое океаническое дно, то в каких-то других местах оно должно исчезать, иначе поверхность Земли расширялась бы бесконечно. Гесс пришел к выводу, что объяснение кроется в характере распределения землетрясений и других физических особенностях глубоководных желобов. Он предположил, что новая поверхность морского дна появляется вдоль горных хребтов, распространяется в стороны, а затем погружается в котловины и там разрушается. Таким образом, морское дно представляет собой гигантский ленточный конвейер.

Гесс изложил свою идею в виде рукописи, которая циркулировала среди его коллег, но два года он не решался ее опубликовать. Свою идею он назвал “упражнением в геопоззии”,



что одновременно снимало обвинение в спекулятивности и подчеркивало красоту идеи. На самом деле отдельные элементы этой теории, как это часто бывает в науке, были сформулированы раньше другими людьми. Еще в 1929 году блестящий британский геолог Артур Холмс выдвинул аналогичную идею о рециркуляции, основываясь лишь на теоретических размышлениях. А Холмса (который, кстати, был одним из создателей современных методов датирования горных пород) на эту мысль навел Вегенер.



### Геопозия и кругооборот океанической коры

Для подтверждения или опровержения геопозии не хватало информации о возрасте морского дна. Одних только эродированных гор и разломов было недостаточно, чтобы положить конец вековому скептицизму. Гесс представил свою теорию в Кембридже в начале 60-х годов XX века. На докладе присутствовал студент Фредерик Вайн. Вайн и его научный руководитель Драммонд Мэтьюз, заинтересовавшиеся соображениями Гесса, стали искать какой-либо индикатор возраста пород на дне океана, чтобы сравнить возраст дна с двух сторон от котловины, обнаруженной Гарп. Используя имевшиеся у них данные, они придумали остроумный способ определения возраста. Если океаническое дно двигалось как лента конвейера, то самое молодое дно должно располагаться вблизи гребня, а с удалением от него возраст дна должен увеличиваться.

Кроме того, на одинаковом расстоянии по обе стороны гребня возраст пород должен

быть одинаковым. В качестве маркера возраста Вайн и Мэтьюз использовали характер намагниченности пород океанического дна. Обнаруженная ими картина в точности соответствовала предсказанию: молодое дно располагается вблизи гребня, а старое – на большем удалении, причем это возрастное распределение одинаково по обе стороны хребта. Итак, морское дно расширяется, как и предполагал Гесс, а до него – Холмс.

Пока Вайн и Мэтьюз готовили свои результаты к публикации, Лоуренс Морли из Канадской геологической службы собирал собственные данные. Он представил статью для публикации в августовский номер журнала “Нейчур”, но ее не приняли. Тогда он отправил статью в специализированный “Джорнал оф геофизикал ресерч”. Дело было в 1963 году. Через несколько месяцев пришел ответ с отзывом анонимного рецензента: “Я обнаружил статью Морли, когда вернулся из экспедиции. Его идея кажется мне интересной, но она больше подходит для обсуждения за коктейлем, чем для публикации в ‘Джорнал оф геофизикал ресерч’”. Эта отсрочка дорого стоила Морли: вскоре после того как он получил отрицательный отзыв, вышла статья Вайна и Мэтьюза.

Вайн и Мэтьюз не измеряли возраст дна напрямую; их метод был совсем новым и требовал доработки, лишь после этого можно было рассчитывать на широкое признание теории Гесса. Подтверждение пришло только через несколько лет – как результат совместных исследований, проведенных учеными из Колумбийского университета, Стэнфорда и Института Скриппса в Калифорнии. Масса новых данных, новые теории и старые идеи Вегенера позволили журналу “Тайм” в 1970 году напечатать статью с красноречивым заголовком: “Геопозия становится геофактом”.

Для профессоров Гесса и Хейзена этот переворот в мышлении означал славу и академические почести. Но старая вражда не угасла. Из-за ссор с Эвингом, главным образом вокруг идеи континентального дрейфа, Хейзен и Тарп стали в Колумбийском университете персонами нон грата. Хейзен являлся профессором, и его нельзя было уволить, но это не остановило Эвинга: он отстранил Хейзена от заведования кафедрой, срезал замок на двери его кабинета, выбросил вещи в коридор и отдал кабинет другому. Не поздоровилось и Тарп. У нее не было своего кабинета, так что научную карьеру она закончила, работая у себя дома в Нью-Йорке. О своем отношении к людям и к науке того времени Мэри Тарп высказалась спустя двадцать лет после смерти Хейзена, выступая в Колумбийском университете: “Всю свою жизнь в науке я проработала на заднем плане, но совершенно об этом не жалею. Мне повезло, что я нашла такое интересное дело. Обнаружить в океане рифтовую долину и горный хребет, который тянется по всему миру на шестьдесят тысяч километров, – это ведь важно. Такое случается лишь однажды. Ничего более крупного невозможно найти, по крайней мере на этой планете”.

## **И треснул мир**

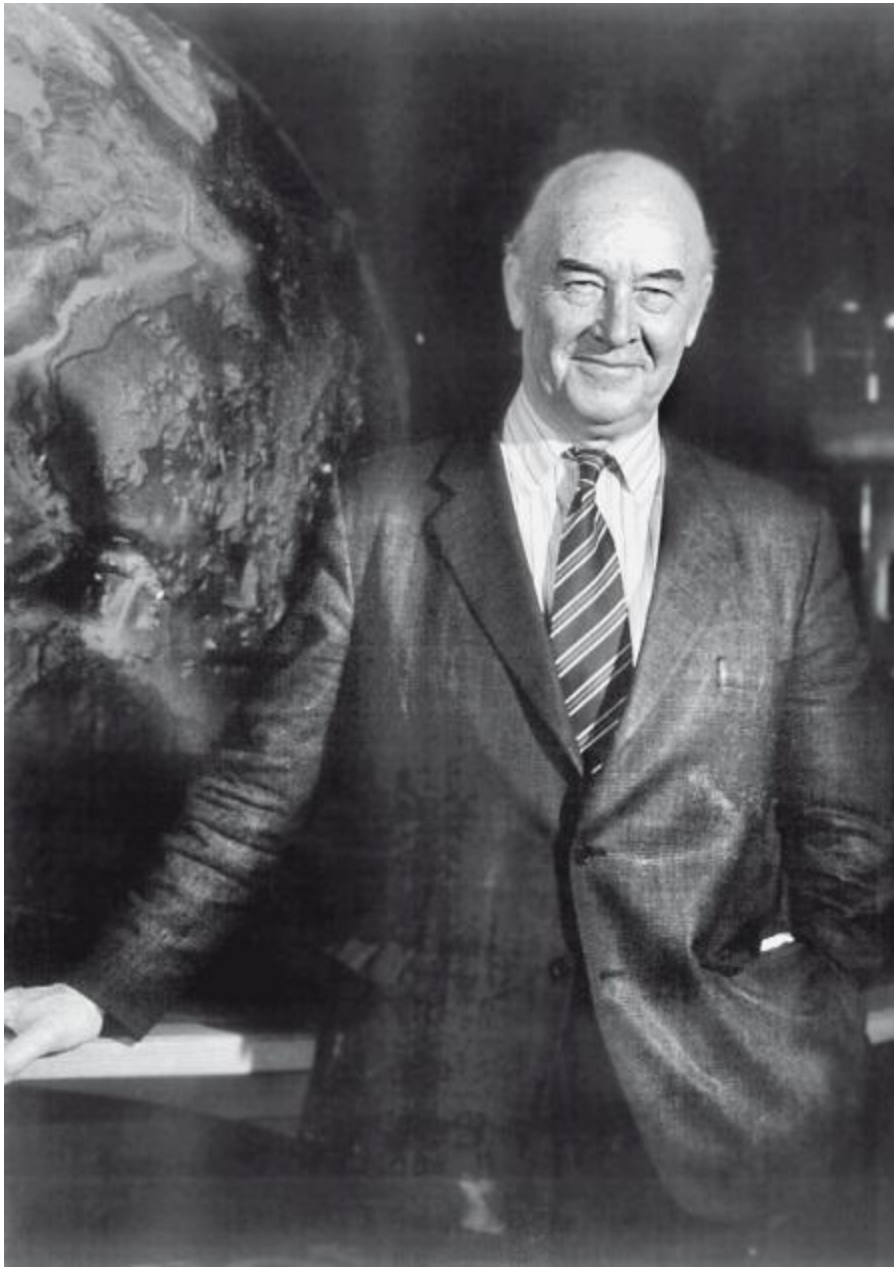
Если идея Вегенера о континентальном дрейфе касается постепенного перемещения, а геопозия Гесса вскрывает тонкие взаимосвязи между отдельными частями Земли, то соединение этих двух идей – тектоника – заключает в себе идею, которая переворачивает основы нашего мировоззрения. В 60-х годах XX века произошли революции в музыке и в политике, но, вероятно, самым заметным изменением было зарождение нового восприятия нашей собственной планеты. Непонятные прежде камни и окаменелости приобрели важный смысл. Ученые с воодушевлением пересматривали устоявшиеся догмы, и одним

из первых в этом революционном процессе был канадский геолог Джон Тузо Уилсон. Физик по образованию, он отличался такими личными качествами, которые сильно помогали ему в работе. Позднее он так сформулировал свое кредо: “Я получаю и всегда получал удовольствие, нарушая покой ученых”.

В конце XIX века палеонтологам было известно, что в Северной Америке и в Европе существуют характерные горные хребты, пролегающие с севера на юг. В США это Аппалачи, протянувшиеся от штата Мэн до штата Северная Каролина, а в Европе и Африке – каледониды от Шотландии до Марокко. В одном месте на севере Шотландии были обнаружены окаменелости, характерные для Аппалачей, а в некоторых местах в Аппалачах – окаменелости европейского типа. Как живые существа попали из одного места в другое? Можно предположить, что они преодолели это расстояние вплавь, однако большинство этих ископаемых существ жило, прикрепившись к камням на дне, и не могло передвигаться так далеко.

По мнению Уилсона, вооруженного новой теорией, события развивались так, как в игре ребенка с бутербродами с маслом и джемом. Что произойдет, если бутерброд с маслом и бутерброд с джемом сначала сложить, а потом разъединить? Когда бутерброды соединяются, джем и масло слипаются, а когда расходятся, то на масле остаются кусочки джема, а на джеме – кусочки масла.

С точки зрения Уилсона, с Европой, Северной Америкой и Атлантическим океаном произошло примерно то же. Сначала, сотни миллионов лет назад, континенты были разделены океаном. Затем океан закрылся, континенты столкнулись, и образовалась горная гряда. Когда континенты разъединились вновь, эта горная гряда распалась на две части, которые сегодня представляют собой Аппалачи и каледониды. А американские окаменелости в Европе? Это просто фрагменты старого континента, оставшиеся здесь с тех пор, как открылся Атлантический океан.



Джон Т. Уилсон, запечатленный в тот редкий момент, когда он не нарушает покой ученых.

Уилсон, как и многие его последователи, считает, что устройство земного шара, которое мы изучаем на уроках географии, сродни моментальному фотоснимку: в прошлом было великое множество других вариантов, и столько же образуется в будущем. Земная кора состоит из нескольких плит, каждая из которых несет океан, континент – или и то, и другое. Эти плиты перемещаются относительно друг друга по мере того, как конвекция под корой вызывает расширение океанического дна посередине хребтов, обнаруженных Тарп, и его разрушение в глубоководных желобах.

В 1984 году, спустя более полувека после гибели Вегенера, НАСА осуществила первое прямое измерение континентального дрейфа. По всему миру были установлены около двадцати станций, направляющих лазерный луч к спутнику, снабженному отражателями. Расположенный рядом с лазером телескоп собирал отраженный спутником свет. Измеряя время, необходимое лазерному лучу для прохождения от каждой станции к спутнику и

обратно, удалось определить расстояние до спутника. Если плиты движутся, расстояние до спутника со временем должно меняться. Так сотрудники НАСА показали, что Северная Америка и Европа удаляются друг от друга со скоростью полтора сантиметра в год. А Австралия приближается к Гавайям со скоростью семь сантиметров в год. Земные плиты движутся приблизительно с такой же скоростью, с какой на нашей голове растут волосы.

За срок жизни человека плиты смещаются незначительно, но в геологическом масштабе это может приводить к чрезвычайным последствиям. В этом танце тектонических плит можно выделить несколько основных элементов. Плиты могут смещаться одна относительно другой. Если они трутся друг о друга, то происходят землетрясения, как в разломе Сан-Андреас в Калифорнии. Некоторые плиты врезаются друг в друга. Если это происходит с континентами, то в результате столкновений образуются новые горные хребты. Тибетское нагорье возникло около сорока миллионов лет назад, когда Индия начала врезаться в Азию. Но плиты могут и расходиться. Если по какой-либо причине конвекционные потоки поднимаются под океаническим дном, возникают рифты и хребты, подобные тем, что обнаружили Хейзен и Тарп. Если такое движение происходит под сушей, то суша может расколоться.



Соединяем по точкам горы и разломы в Северной Америке и в Африке.  
Заштрихованные области соответствуют породам с одинаковыми характеристиками.

Движение тектонических плит объясняет очень многое. Фариш и его группа попали в Гренландию, как мы видели в главе 1, из-за сходства местных горных пород с породами Коннектикута и Канады. Многочисленные трещины, озерные отложения и песчаники указывают на то, что двести миллионов лет назад в восточной части Северной Америки произошло важное событие: образовался рифтовый разлом. Сходными характеристиками обладают горные породы на противоположной стороне Атлантического океана, в Марокко и в Европе. Характер горных пород и окаменелостей позволяет соединить эти точки: когда-то восточная часть Северной Америки, Гренландия и Марокко составляли единый континент, который раскололся на части в процессе открытия Атлантического океана двести миллионов лет назад.

Карты и рифты, однако, позволяют найти гораздо более глубокие связи, нежели связи между точками на глобусе.

### **Внутренняя карта**

В 1967 году тexasкая судостроительная компания “Левингстон” начала строительство судна “Гломар Челленджер”, которое выглядело, как любое другое судно, за исключением того, что в центре его возвышалась буровая установка высотой около двадцати метров. В следующие пятнадцать лет “Гломар Челленджер” бороздил моря и бурил дно. За время его эксплуатации было сделано более шестисот скважин. Буровая установка позволяла поднимать керны породы с глубины до шестисот метров под поверхностью дна. Каждый керн поднимали на поверхность в виде пятидесяти или более десятиметровых сегментов камня и морских осадков, по виду напоминавших серо-коричневый флагшток. Всего было поднято почти двадцать тысяч кернов. Настоящее сокровище для ученых: по этим образцам можно узнать возраст, историю и состав морского дна. Сегодня эти образцы все еще лежат в хранилищах по всему миру, и ученые продолжают их изучать, хотя сам “Гломар Челленджер” давно пошел на слом.<

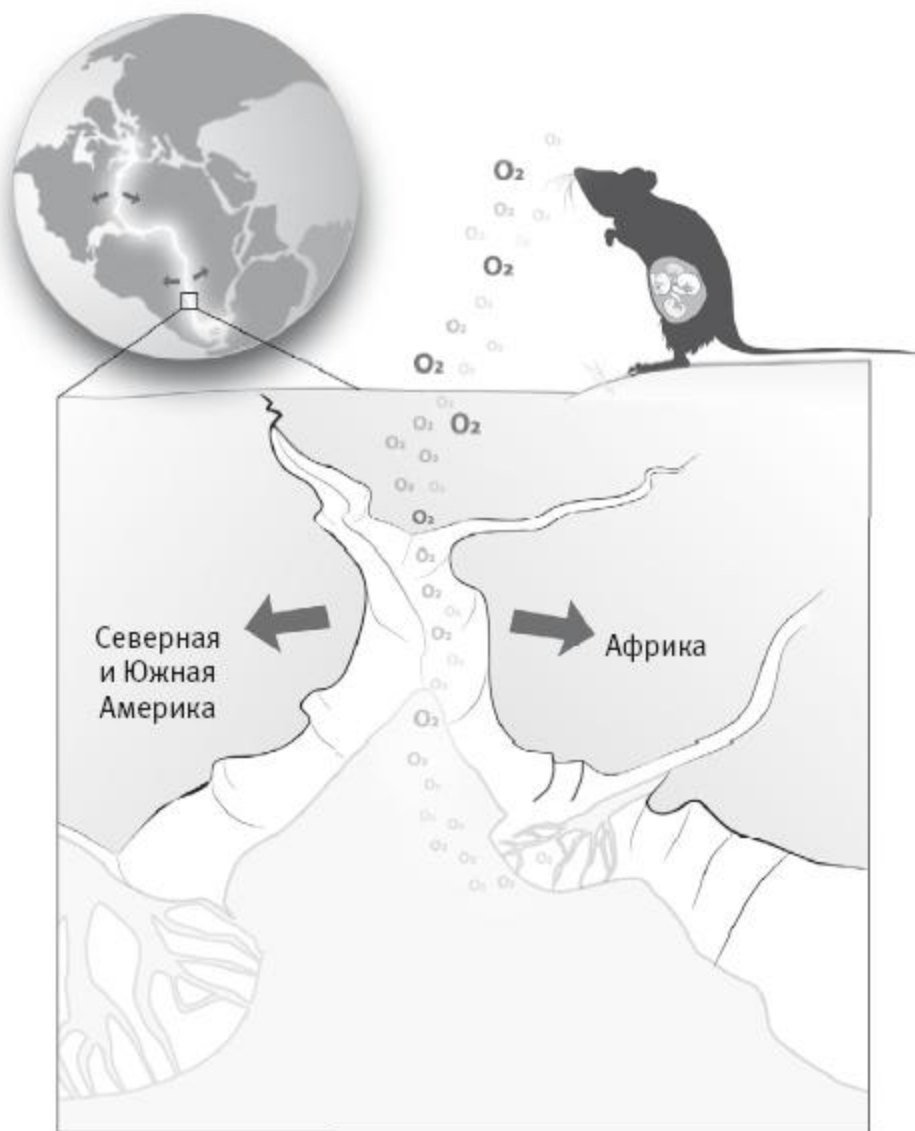
> Внутри этих образцов – слои минералов, состоящие из различных атомов, которые позволяют изучить состав атмосферы, температуру и многие геологические процессы на планете за последние двести миллионов лет. Особенно важны для нас те атомы, которые могут рассказать о содержании кислорода в атмосфере. Главное то, что концентрацию кислорода в атмосфере можно приблизительно оценить по содержанию различных форм углерода. На нашей планете углерод и кислород существуют в равновесии: углерод, выбрасываемый вулканами и поглощаемый живыми организмами и минералами, взаимодействует с кислородом и влияет на его уровень в воде и в воздухе. Измеряя содержание разных форм углерода в каждом слое осадка в керне, можно определить содержание кислорода на планете в некоторую эпоху.

Образцы, которые “Гломар Челленджер” поднял на поверхность, рассказывают о двух разных мирах: один существовал до того, как двести миллионов лет назад начал раскрываться Атлантический океан, а другой возник после. Начиная со времен образования Атлантического океана, содержание кислорода в атмосфере выросло чрезвычайно сильно, так что около сорока миллионов лет назад кислорода в воздухе стало столько, что мы уже могли бы не просто кое-как дышать, но и жить так, как сегодня.

Рифт, начавший раскрываться свыше двухсот миллионов лет назад и расщепивший суперконтинент, создал чрезвычайно протяженную береговую линию. И, как знает



каждый обитатель прибрежной зоны, такие области сильно подвержены эрозии. Усиление эрозии запускает цепную реакцию. Представьте себе совершенно новые берега, поставляющие морю осадочные породы. Осадочные породы стали засыпать придонный ил. Он играет в круговороте веществ очень важную роль: каждый день триллионы одноклеточных организмов умирают и опускаются на дно, а при их разложении расходуется кислород. Если этот ил не трогать, он потребляет огромное количество кислорода из воды и, в итоге, из атмосферы. Но когда весь ил оказывается засыпанным осадочными породами, кислород уже не расходуется так быстро. Он сохраняется и в воде, и в атмосфере. Именно к этому и привело появление рифта и новой береговой линии: к повышению уровня кислорода в воздухе за счет погребения потребляющего кислород ила.



Раскрытие рифтов и цепная реакция, приведшая к повышению уровня кислорода в атмосфере, дали нашим предкам шанс преуспеть.

С этого момента на Земле возник новый мир – мир с высоким уровнем кислорода в атмосфере. А с появлением кислорода открылся целый ряд новых возможностей.

Млекопитающие, в том числе люди, тратят чрезвычайно много энергии. Мы сами обеспечиваем себя теплом. Работа наших мышц, а также защитный слой волос, жира и (в нашем случае) одежды поддерживают температуру тела на постоянном уровне вне

зависимости от температуры окружающей среды. Холоднокровные существа, такие как ящерицы, тоже умеют регулировать температуру своего тела, но для этого они, например, греются на камнях или прячутся в нору. На холоде ящерицы неактивны. Во время экспедиций на север не приходится опасаться змей: главную опасность здесь представляют белые медведи. Млекопитающие могут вести активный образ жизни в таких условиях, при которых холоднокровные животные погибают. Наша теплая кровь защищает нас от капризов погоды. Но для поддержания этого тепла нужен кислород.

Мы защищены от внешнего мира не только будучи взрослыми. Мы начинаем свое существование в животе у матери, окруженные оболочками, защищающими нас и обеспечивающими связь с материнским организмом. Поскольку плод получает весь кислород от матери, должен существовать механизм передачи кислорода из крови матери к плоду. Этому процессу способствует резкая разница концентраций кислорода в материнской крови и в крови плода, благодаря которой кислород переходит к плоду. Но для этого – что очень важно – содержание кислорода в крови матери должно быть достаточно высоким. Из-за этого ограничения плацентарные животные обычно не могут нормально развиваться на высоте более четырех с половиной тысяч метров над уровнем моря. Но именно такое содержание кислорода было в атмосфере Земли на уровне моря двести миллионов лет назад, до появления Атлантического океана.

За защиту от окружающей среды приходится расплачиваться: крупным теплокровным млекопитающим для поддержания температуры тела, для нормального внутриутробного развития и полноценного существования во взрослом возрасте необходимо топливо. Ключевую роль здесь играет кислород: такие животные никогда не смогли бы появиться на свет в той атмосфере, которая существовала до разъединения континентов. Рифт Мэри Тарп не только создал океан, но и открыл целый мир новых возможностей для наших предков.

## **Глава 7**

### **Цари горы**

//-- 65 миллионов лет --//

“Ну, еще шаг”, – твердил Пол Олсен. Он пытался подбодрить меня, но я застыл, словно кот на дереве. Мы были в Новой Шотландии, на берегу, и в перерыве между поиском окаменелостей собирали геологические образцы. Берег здесь сложен из удивительных красных, оранжевых и коричневых песчаников, как в индейских резервациях хопи и навахо в пустынях американского Юго-Запада. Красоту местности подчеркивает вода: отвесные скалы под ее действием превратились в природный сад скульптур с пещерами, арками и колоннами. Пол, геолог из Колумбийского университета, хотел взять образцы песка из светлой полосы, разделявшей нижний оранжевый и верхний коричневый слои. К сожалению, эта полоса светлой породы располагалась на шестидесятиметровой высоте и подобраться к ней было практически невозможно. Кроме того, скала была настолько изъедена, что один неловкий шаг мог закончиться полетом. Чтобы удержаться, мы должны были идти по ступенькам, которые вырубали молотками. Я не альпинист и вообще боюсь высоты, поэтому карабкался, глядя только на собственные ноги, руки и

молоток, поскольку даже короткий взгляд вниз вызвал бы головокружение и пригвоздил меня к месту. Прежде во время таких приступов паники мне помогали терпеливые коллеги, которые спускали меня на землю, передавая из рук в руки, как пожарные.

Через час или два уговоров Пол добился своего: я добрался до светлой полосы. Вблизи оказалось, что толщина этого слоя примерно равна человеческому росту. Около часа мы работали молотками, укладывая кусочки породы в надписанные пакетики. Наградой за все неудобства был потрясающий вид на просторы залива Фанди впереди и под нами. Начинался роскошный летний день. Вода стояла высоко, ветер утих. Залив был гладким как зеркало. Великолепие этого места связано с его историей. Форма береговой линии рассказывает о долгом действии ледников и эрозии. Пастбища и человеческие жилища образуют свежий рисунок на этом древнем пейзаже. Слой за слоем история выдает себя (конечно, если знать, как смотреть).

Почему светлая полоса породы привлекла внимание Пола? Состав этой полосы и окружающих ее камней может рассказать о событиях, предопределивших существование человека.





Скалистые берега Новой Шотландии (Канада) издали (слева) и вблизи у белой полосы (справа; фигуры геологов позволяют осознать масштаб).

В результате движения континентов и повышения в атмосфере уровня кислорода около двухсот миллионов лет назад мир стал таким, каким его знаем мы. За исключением одного: миллионы лет самыми крупными обитателями планеты были не млекопитающие, как теперь, а крупные динозавры и их родственники – мозазавры, плезиозавры, крокодилы и птерозавры. Суша, вода и воздух были населены совершенно иными существами, которые успешно развивались: множество этих животных расселилось по разным уголкам планеты. А потом все они исчезли.

### **Затерянные миры**

В 1787 году Уильяма Смита пригласили оценить стоимость одного имения в Сомерсете, в Англии. Смита мало интересовали деньги. Он искал другие сокровища.

Уильям Смит принялся изучать породы, выходящие на поверхность вдоль ручьев, на холмах и в угольных шахтах. В одной из заброшенных шахт он обратил внимание на то, что породы вокруг шахты образуют легко различимые слои разного цвета и текстуры. Каждый слой состоял из особой породы с характерным набором окаменелостей внутри. Сравнив образцы из этих слоев с другими образцами из окрестностей, Смит пришел к выводу, что слои в шахте соответствовали поверхностным слоям в других частях имения. Изучив слои внимательнее, он понял, что может использовать окаменелости для определения соответствия между породами из разных районов: этакий гигантский

трехмерный пазл. Натурфилософы, включая Леонардо да Винчи, считали, что можно проводить сравнительный анализ камней, окаменелостей и пластов породы в отдельных местах. Теперь, благодаря своему озарению, Уильям Смит нашел ключ к составлению геологической карты всей Земли: камни и окаменелости организованы пластами.











Уильям Смит (вверху), Джон Филлипс (внизу) и карта Англии, составленная Смитом.

Смит расширил свои наблюдения, исследовав сначала окрестности города Бат, а затем составив карту всей Великобритании. Для решения такой задачи требовались немалые финансовые средства, а у Смита не было ни академического поста, ни покровителя в академических кругах. Он очень нуждался в деньгах. Со временем Смит сумел убедить около ста человек финансировать его изыскания и принялся изучать страну. Ему повезло с помощником: под его опекой находился племянник, Джон Филлипс, который в возрасте семи лет остался круглым сиротой и с самого детства сопровождал Смита во всех экспедициях. Уже в пятнадцать лет Филлипс удивительно ловко находил окаменелости.

Сегодня для построения геологических карт пользуются аэрофотосъемкой и GPS-навигаторами. Основанием для сравнения служат горные породы, выходящие на поверхность, а также извлеченные из недр буровыми установками. Это большая и сложная наука, которую финансируют нефтяные и горнорудные компании, а также

правительства. Геологические карты – это отправная точка всех геологических исследований. В 1815 году Смит выполнил эту задачу в значительной степени своими силами и с помощью самодельных инструментов. Готовая карта (высотой в два метра) стала настоящим триумфом: она отражала относительное расположение основных геологических пластов и окаменелостей на всей территории Великобритании.

К несчастью для Смита, “королем” английской геологии в то время был Джордж Беллас Грино. Без его поддержки карта Смита не могла привлечь внимания профессионалов и, следовательно, быть проданной в достаточном количестве, чтобы покрыть долги. Но Грино не только не поддержал Смита, но и занялся изготовлением собственной карты. И, конечно, его карта оказалась дешевле карты Смита.

Продажа карты Смита шла настолько плохо, что он вынужден был провести одиннадцать недель в долговой тюрьме; вернувшись, он обнаружил свое имущество конфискованным. Смит надеялся сохранить коллекцию окаменелостей, собранную им и племянником во время экспедиций, но вынужден был продать и ее, чтобы уплатить долги. Беда не приходит одна: примерно в это же время жена Смита потеряла рассудок и оказалась в лечебнице.

Несмотря на все неудачи Смита, его вклад в науку достаточно велик. Смит подтвердил, что окаменелости в горных породах изменяются при переходе от самых глубоких (старых) слоев к поверхностным (молодым). Он показал, что окаменелости можно использовать в качестве маркеров для идентификации одинаковых пластов на обширной территории. Кроме того, и это очень важно, он научил своего племянника Джона Филлипса искать окаменелости и различать геологические пласты.

Если Смит был символом неудачливого ученого, да еще и неудачно женившегося, то у Филлипса все было наоборот: он стал благополучным преподавателем Оксфорда и всю жизнь прожил под одной крышей со своей сестрой. Он посвятил жизнь изучению геологических пластов, обнаруженных его дядей. Смит идентифицировал их, а Филлипс вознамерился выяснить их смысл.

Работа с дядей подарила Филлипсу зоркий глаз и навыки, которые позволили ему собрать удивительную, умело организованную коллекцию раковин, костей и отпечатков. Начав работать с картой дяди, он расположил на ней по слоям все известные окаменелости и задался вопросом: что же происходило при смене одного слоя другим?

Филлипс выделил три эры, каждая из которых характеризовалась особым составом окаменелостей. На границах между этими затерянными мирами исчезали одни существа и вдруг появлялись другие. Филлипс считал, что эти три этапа соответствуют трем важнейшим геологическим эпохам, и назвал их палеозойской, мезозойской и кайнозойской эрами. Он опубликовал результаты своих исследований в 1855 году, и если вам интересно узнать, насколько значительным был его вклад в науку, просто сходите в любой естественнонаучный музей. Вы увидите, что эти три великие эры обозначены на временной шкале рядом с ископаемыми акулами, динозаврами, трилобитами.

То был период великих научных открытий. Глядя на камни и окаменелости, люди начали предлагать новые идеи. Из отдаленных уголков планеты корабли везли прежде не известные западной науке минералы, растения и животных. Натурфилософы всех специальностей, которых сегодня мы бы назвали анатомами, палеонтологами и геологами, пытались разобраться в этих диковинках.

Жорж Леопольд Кретъен Фредерик Дагобер Кювье обладал огромным самолюбием,

вполне соответствовавшим его длинному имени. Он родился в незнатной семье, а умер бароном и одним из руководителей Музея естественной истории в Париже.

Участники одной из экспедиций привезли в Париж из Южной Африки гигантский, почти двухметровый скелет, напоминавший маленький воинский эшелон. Остов принадлежал существу с массивными костями, тяжелыми челюстями и черепом с уплощенными зубами. Оно было совершенно незнакомо Кювье, однако при тщательном изучении позвоночника и конечностей проницательный анатом узнал в этом странном ископаемом некое подобие ленивца.

Затем внимание Кювье привлекли различные кости, напоминавшие кости слона. Он идентифицировал их как кости нового вида животного – мамонта. Однако эти открытия, чрезвычайно важные для тех, кого интересует биоразнообразие, вызывали тревожный вопрос: а где сейчас живут эти существа?

Кювье пришел к заключению, что, возможно, гигантских ленивцев и мамонтов на планете больше нет, но прежде они на ней жили. Они – представители ушедших, затерянных в прошлом миров. Так родилась концепция вымирания, столь важная для нас и абсолютно чуждая многим мыслителям на протяжении тысячелетий.

Одна за другой появлялись находки. В Германии спелеологи обнаружили на дне пещеры крупные кости. Кто это – дракон? Какое-то неведомое чудовище? Анатом с медицинского факультета местного университета понял, что это кости медведя, но настолько огромного и странного, что ничего подобного в Европе не выдвали. Несколько лет спустя Томас Джефферсон обнаружил около своего поместья в Виргинии окаменелые остатки гигантских ленивцев, мамонтов и других существ.

Кювье был мыслителем и не удовлетворился описанием найденных костей; на основании своей теории он сформулировал общие закономерности развития природы. Его вывод был таков: вымирание видов – не только реальность, но и достаточно общее явление. Эта идея показалась ему настолько важной, что в одной из своих первых монографий он отметил: “Мне кажется, что все эти факты... доказывают существование мира, предшествовавшего нашему и погибшего в результате какой-то катастрофы”.

Идея Кювье, как прежде и идея Филлипса, заключалась в том, что Землю сформировали катастрофы. Это была передовая гипотеза, подкрепленная доказательствами и авторитетом именитых ученых. И все-таки научный мир почти совершенно игнорировал эту гипотезу более ста лет.

Теория катастроф шла вразрез с научными представлениями того времени. Господствовавший подход казался настолько мощным средством объяснения истории Земли, что не требовал (и не позволял) никакого вмешательства. Лозунгом ученых тогда было: “Смотри на настоящее – и поймешь прошлое”.

Эта идея так проста и элегантна, что принимается без доказательств. Если машина в понедельник припаркована на одной стороне улицы, а в четверг – на другой, то ясно, что кто-то брал ее и припарковал в новом месте. Достаточно трудно представить, что она самовольно перелетела на другое место или что ее перенес какой-то особый ветер. Механизм, действующий сегодня, объясняет то, что случилось вчера, и не следует привлекать для объяснений ни волшебство, ни экстраординарные физические явления.

Тот же метод применим и к истории горных пород и геологических слоев. Главные действующие силы тут ветер, дождь и земное притяжение – проявления обычных физических и химических законов. Если они формируют сегодняшний мир, то они же должны были работать в прошлом. Ясно, что Большой Каньон – глубокий провал, на дне

которого течет река Колорадо. Очевидная причина формирования каньона – эрозия под действием воды, благодаря которой русло реки постепенно углублялось, а стены становились все выше. Но это процесс очень медленный. Песок не превращается в камень за одну ночь, и река не может прорыть каньон трехсотметровой глубины за день или даже за год. Из этого следует, что для формирования Большого Каньона и других геологических объектов потребовались миллионы лет.

Концепция постепенного изменения объясняла образование каньонов, коралловых рифов и береговой линии. Современные процессы не только позволяют объяснить историю Земли, но и указывают, что большинство изменений в живой и неживой природе должны быть медленными. Посмотрите на современную планету: вы не сможете представить, а уж тем более увидеть, никаких признаков глобальных катаклизмов, сформировавших жизнь.

Теории катастроф, как те, что были выдвинуты Филлипсом и Кьювье, считались странной причудой. Филлипс продолжал работать, но к моменту его смерти (в результате падения с лестницы в оксфордском колледже Олл-Соулз) в 1874 году идея о катастрофах уже ушла в прошлое, побежденная господствующей догмой о постепенных изменениях.

## **Революция**

Город Стаффорд расположен в центре Канзаса, чуть ближе к южной границе. Его население не превышает тысячи семей, а школа настолько мала, что футбольные команды составляют всего из восьми игроков. В начале XX века члены семьи Ньюэллов были известны в городе как эксперты в области естественной истории. Когда фермеры нашли странный камень, старший Ньюэлл опознал в нем зуб мамонта. Шестилетний Норман Ньюэлл разглядывал находки, и это заставляло его по-другому смотреть на родные места: равнины Канзаса когда-то были лугами и лесами, в которых обитали крупные млекопитающие. Его интерес к палеонтологии рос, и он преуспел в учебе до такой степени, что получил привилегированную стипендию по палеонтологии в Йельском университете, который к 30-м годам стал одним из ведущих центров исследований в этой области.

Пребывание Нормана Ньюэлла в Йельском университете было семейным предприятием. Финансовую помощь ему оказывала жена, которая составляла каталоги образцов для Музея естественной истории им. Джорджа Пибоди, пока Ньюэлл не получил стипендию на второй год обучения. Он занялся изучением двустворчатых моллюсков. Ньюэлл быстро понял преимущества работы с этими животными. У них прочные раковины, которые легко окаменевают, и они очень часто встречаются в древних пластах горных пород по всему миру. Ньюэлл сделал нечто, что мало кому в то время приходило в голову: использовал современных моллюсков для реконструкции образа жизни их вымерших родичей.

Во время Второй мировой войны Ньюэлл служил в отделении Государственного департамента США в Перу, а в 1945 году устроился на работу в Американский музей естественной истории в Нью-Йорке. Это было большой удачей: там он получил возможность работать с великолепной коллекцией, общаться с известными учеными и рассчитывать на финансовую поддержку для дальнейших исследований. В те времена музей был земным раем для тех, кто занимался окаменелостями и таксономией. Запасники

музея представляют собой коридоры длиной в сотни метров. Эти коридоры – центры исследовательской активности. Вокруг окаменелостей и образцов, собранных со всего света, рождались и рождаются научные идеи.

Вскоре после того, как Ньюэлл прибыл в Нью-Йорк, его попросили сочинить две главы для колоссальной сводки “Основы палеонтологии беспозвоночных”. Книга эта, как и ее заглавие, приводит в трепет. Идея заключалась в том, чтобы создать современный каталог всех когда-либо найденных окаменелостей с указанием деталей их строения и описанием геологических слоев, в которых они были найдены. Теперь это издание разрослось до пятидесятитомного труда, составленного тремя сотнями ученых, каждый из которых является экспертом по определенной группе ископаемых организмов. Кое-кому подобное занятие напоминает филателию, но таким, как Ньюэлл и его последователи оно представляется окном в мир научных открытий.

Ньюэлл с головой ушел в мир ископаемых раковин. Он изучил их анатомию и разнообразие, а также (что очень важно) узнал, в каких геологических слоях их можно встретить. Как и Филлипс и Смит до него, Ньюэлл “читал” слои земной коры как книгу. Но, в отличие от Филлипса и Смита, он был вооружен широчайшим набором данных из разных регионов Земли.

Чем больше Ньюэлл и другие ученые исследовали окаменелости, тем отчетливее понимали: огромное множество животных и растений, населявших когда-то планету, очень быстро, практически одновременно, исчезало. Жизнь на планете претерпела не одну, а несколько катастроф.

Ньюэлл озвучил мнение небольшой группы, призывавшей признать реальность глобальных катаклизмов, о которых Филлипс и Кювье говорили более ста лет назад. Реакция была такой же: его работу проигнорировали. Доказательства изменения хода истории в прошлом не могли поколебать господствовавшую более ста лет теорию. Та же судьба постигла идею континентального дрейфа: рисунок континентов был очевиден, но из-за отсутствия механизма, объяснявшего их движение, многие не могли согласиться с реальностью последнего. То же и с идеей катастроф. Какие механизмы могут объяснить эти глобальные изменения?

В конце 70-х годов XX века Уолтер Альварес, геолог из Беркли, изучал в Италии породы, возраст которых составляет около шестидесяти пяти миллионов лет. Известно, что именно в это время (меловой период) исчезли динозавры. Альваресу, весьма аккуратному и внимательному полевому геологу, удалось отождествить момент окончания мелового периода с одним тонким прослоем глины. Ниже лежали слои, содержавшие окаменелые остатки динозавров, морских пресмыкающихся и других животных. Выше никого из этих существ уже не было. Альварес задался вопросом: насколько быстро исчезли эти существа? Он считал, что ответ на вопрос содержится в этом слое глины. Может быть, анализ ее химического состава позволит оценить скорость его образования?

Уолтер Альварес обратился с этим вопросом к своему отцу, Луису Альваресу, лауреату Нобелевской премии по физике, также работавшему в Беркли. Альварес-старший живо интересовался разными научными проблемами и стремился применить свои знания в области физики элементарных частиц. В то время, когда сын обратился к нему с вопросом, он изобрел способ поиска сокровищ в египетских пирамидах.

Уолтер и Луис Альваресы решили с высокой точностью измерить содержание некоторых химических элементов в геологических слоях. Одним из интересных элементов является иридий: он редко встречается на Земле, но гораздо чаще в некоторых астероидах и метеоритах. Если метеориты бомбардируют Землю с постоянной частотой, содержание иридия в пластах может служить геологическими часами. Содержание иридия в минералах исчисляется в частях на миллиард. К счастью, Альварес-старший был связан с научной группой, знакомой с работой такого рода, и имел доступ к приборам Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли, способным осуществить очень точные измерения.

Уолтера и его отца ждал большой сюрприз, потому что иридий, практически отсутствовавший в большинстве слоев, в очень высокой концентрации обнаружился в данном слое глины. Стало понятно, что астероиды не падают на Землю с постоянной частотой. Время от времени происходят падения очень крупных тел. В данном случае речь шла о падении одного гигантского астероида. Всплеск содержания иридия в точности соответствовал геологическому слою, в котором отразилась одна из величайших катастроф в истории.

Затем Луис Альварес предложил возможный механизм вымираний. В результате падения на Землю крупного астероида в атмосферу выбрасывается такое количество пыли, что она закрывает Солнце и приводит к гибели растительности. Эффект распространяется по пищевым цепям и вызывает повсеместную гибель животных. Стало возможным не только представить себе механизм глобальной катастрофы, но и проследить ее влияние на жизнь путем детального изучения геологических слоев. Увлекательность научного поиска в том и состоит, чтобы придумать идею, справедливость которой определяется верностью сделанных на ее основе предсказаний, а для их проверки вам приходится исследовать новые места, открывать новые объекты и анализировать новые данные.

Метеоритная теория не просто рассказывает о камнях, падающих из космоса: она заставляет иначе взглянуть на саму идею глобальных катастроф. Впервые с тех пор, как человек задумался о природе гор, живых существ и окаменелостей, мы получили возможность не только представить себе механизм глобального катаклизма, но и реконструировать его воздействие на биосферу. Создание метеоритной теории вернуло в повестку дня вопрос о роли катаклизмов в истории. Теперь идеи таких ученых, как Филлипс, Кьюе и Ньюэлл, уже не воспринимаются как чудачество. Мы больше не задаем себе вопрос, возможны ли катастрофы, а пытаемся определить их последствия.

## **Лотерея?**

В конце 60-х годов молодой человек по имени Томас Шопф задался целью изменить наше восприятие прошлого, не слишком беспокоясь, что это кому-то может не понравиться. Он видел, что очень многие палеонтологи работают с одной небольшой группой животных, относящихся к строго ограниченному небольшому отрезку времени. Вся палеонтология представляла собой набор разрозненных исследований. Но если мы хотим ответить на глобальные вопросы, подход следовало изменить. Стивен Джей Гулд однажды заметил, что Шопф желал “спасти палеонтологию”, введя в нее математическую точность.



Понимал это Шопф или нет, но он пытался вернуться к идеям Джона Филлипса. “Что еще мы можем с этим сделать?” – с такими словами Шопф обратился к необычной аудитории. Он пригласил нескольких крупнейших палеонтологов в Вудсхоулский океанографический институт на полуострове КейпКод. Когда они приехали, то обнаружили на столах тома “Основ палеонтологии беспозвоночных”. Им предстояло продолжить дело, начатое Ньюэллом. Самые выдающиеся умы, вооруженные самым полным описанием всех известных окаменелостей, на три дня закрылись в кабинете института на берегу океана. Из этого могло получиться нечто фантастическое. Вообще говоря, вся эта история несколько напоминала роман Агаты Кристи.

Каков же был результат организованного Шопфом трехдневного столкновения всех собранных к тому времени палеонтологических данных с несколькими лучшими умами? Присутствовавший там коллега Шопфа из Чикаго так описал результат: “Мы не сдвинулись с места. Абсолютный ноль”. К счастью, в последний день Стивен Джей Гулд привел одного из своих студентов. Этого компьютерного гения звали Джек Сепкоски, и он только что окончил университет Нотр-Дам в штате Индиана.

Не сохранилось свидетельств о том, что говорил или делал юный Сепкоски на собрании. Однако после собрания Гулд поручил ему представить “Основы палеонтологии” и результаты различных палеонтологических исследований в виде базы данных, в которой для каждой группы окаменелостей были бы точно указаны интервалы геологической временной шкалы, к которым эта группа приурочена. Это было в 1972 году. Сепкоски принялся за работу и стал понемногу компилировать данные. Его база данных росла и росла. Он продолжал начатое дело, даже когда сам стал профессором Чикагского университета. Спустя десять лет после встречи в Океанографическом институте первая пригодная для использования палеонтологическая база данных была готова.

Я был тогда студентом и хорошо помню, что база Сепкоски стала главным предметом обсуждения среди палеонтологов. При учете всей имевшейся информации выяснилось, что развитие жизни на Земле ни в коем случае нельзя считать случайным. Ранний период развития животного мира сопровождался очень быстрым расширением разнообразия с последующим выходом на некое плато. Со временем число видов животных то слегка увеличивалось, то уменьшалось; при этом можно выделить пять временных интервалов, когда количество видов сокращалось катастрофически. Самый известный эпизод – тогда погибли все динозавры – произошел примерно шестьдесят пять миллионов лет назад (так называемое массовое вымирание на рубеже мелового и палеогенового периодов). Вместе с динозаврами исчезли морские и летающие пресмыкающиеся, аммониты, сотни менее известных существ. Другие эпизоды массового вымирания случились 375 и 200 миллионов лет назад. Картина во всех случаях примерно одна и та же: множество видов во всем мире в какой-то момент одновременно исчезают. Один такой эпизод чуть было не закончился полным исчезновением жизни на Земле: двести пятьдесят миллионов лет назад погибло 90 % видов морских существ.

Итак, катастрофы – не выдумка чудаковатых ученых, а факт, определяющий развитие нашего мира. И, как выяснилось уже после открытия Альваресов, смертельную опасность представляют не только астероиды. Ответственность за некоторые глобальные изменения на планете, в которых неповинны астероиды, можно возложить на извержения вулканов и химические изменения в океанах. Эти знания позволяют нам задаться новыми важными вопросами.

Кто выживает в глобальных катастрофах? Существуют ли правила, определяющие

реакцию живых организмов на катаклизм? К великому сожалению, ни Шопф, ни Сепкоски не дожили до появления первых ответов. Шопф всегда жил в очень напряженном рабочем ритме, он просто не умел отдыхать. Он полностью погружался в решение задачи и работал круглосуточно. Его сердце не выдержало в 1984 году, во время геологической экспедиции, и работа остановилась навсегда. Шопфу было сорок четыре года. Сепкоски умер у себя дома в Чикаго в 1999 году. Ему было пятьдесят.

После смерти Шопфа на его место в Чикаго взяли другого неугомонного ученого – Дэвида Яблонски. Кабинет Яблонски находится недалеко от моего, а лаборатория Дэйва представляет собой большое открытое помещение. Точнее, это помещение было большим и открытым до того, как туда переехала его коллекция из тысяч книг, статей и журналов. Добраться до стола Дэйва у дальней стены очень непросто. Требуется пробираться через лабиринт, образованный колоннами из журналов высотой по пояс и книг – высотой по грудь. От его стола невозможно разглядеть дверь: ее заслоняют все эти книги и оттиски. Но если вы попросите Дэйва разыскать какую-нибудь статью, он безошибочно выудит ее из стопки. Я с трудом нахожу дорогу в этом лабиринте, а он точно знает, где что. Его ни в коем случае нельзя назвать неорганизованным человеком. Его комната полностью соответствует его способности находить порядок среди хаоса.

Дэйв анализирует палеонтологические базы, подобно тому, как за сорок лет до него это пытались сделать ученые, собравшиеся в Вудсхоулском институте. Он обращает внимание в первую очередь на животных с твердым минеральным скелетом, поскольку их много и они хорошо сохраняются в виде окаменелостей. Дэйва вдохновляет поиск крупномасштабных закономерностей. При этом любой измеряемый параметр может стать предметом анализа: от размеров животного до времени его распространения или ареала.

Отделить сигнал от шума в таких исследованиях – задача непростая. Представьте, что вам нужно сравнить окаменелости каких-то видов организмов и ответить на вопрос, какой из них в отдаленном прошлом был более многочисленным. Начнем с очевидного. Нужно подсчитать все окаменелости этих видов во всех музеях и коллекциях мира и найти тот вид, который наиболее широко там представлен. Но мы быстро поймем, что некоторые окаменелости встречаются чаще прочих, поскольку они лучше сохраняются (или, может быть, их легче найти). Другие окаменелости могут быть представлены широко потому, что коллекционеры их особо выделяют или отбирают в связи с выполнением какого-то научного проекта. Например, если вы взглянете на нашу коллекцию, собранную в Арктике, то обнаружите, что в ней явно преобладают зубы и задние части челюстей. Означает ли это, что в прошлом зубы и челюсти встречались чаще других частей животных? Конечно, нет. Это означает лишь, что они хорошо сохраняются и найти их проще, чем другие части скелета. Дэвид Яблонски и его коллеги потратили много времени, пытаясь убрать из данных эти искажения и случайный шум, чтобы составить подлинную летопись жизни на нашей планете в разные времена.

Двустворчатые моллюски, такие как устрицы, мидии и их родственники – не только украшение обеденного стола, но и доминирующий элемент среди всех окаменелостей. Ископаемых двустворчатых моллюсков находят на территории древних озер, рек и океанов. Они заполняют полки и кабинеты во всех палеонтологических коллекциях мира. Обилие этих окаменелостей (двустворчатые моллюски живут на планете более пятисот миллионов лет) делает их идеальным объектом для изучения изменения биоразнообразия во времени.

Чтобы взглянуть на проблему глазами Дэйва, нужно представить три с половиной

миллиарда лет истории жизни на Земле как одну длинную игру на выживание, в которой выигрывали виды, жившие дольше и производившие более многочисленное потомство. А теперь подумайте о том, какие факторы помогают организмам выживать и воспроизводиться. Если речь идет о животных, мы назовем такие признаки, как способность быстро бегать, высоко прыгать и ловко лазать, а также иметь челюсти, приспособленные для употребления определенного рода пищи. В какое-то время хорошо быть большим, а в какое-то – маленьким. Нужно определить, насколько эффективно животное питается, воспроизводится и двигается. На основании этих показателей можно предсказать, кто выйдет победителем: быстрые одолеют медленных, плодовитые – менее плодовитых, и так далее. Десятки или даже сотни миллионов лет эти признаки обеспечивают успешное развитие определенных видов. Затем следует понять, как эти признаки помогают животным пережить глобальную катастрофу. Казалось бы, наличие подобных признаков – надежный ключ к успеху. Так вот: все это абсолютно неверно.

Так где же он, палеонтологический Грааль – признак, обеспечивающий выживание в катастрофе? Кажется, все же существуют некоторые факторы, способствовавшие выживанию в катаклизмах, вызванных астероидами, изменением уровня моря и извержениями вулканов. Один фактор, по-видимому, позволяет предугадать способность вида к выживанию в глобальной катастрофе: широкое распространение. Виды, представители которых встречаются на многих континентах, сохраняются с большей вероятностью, чем виды, обитающие только в одном регионе.

Миллионы лет выживание и воспроизводство живых организмов определяется тем, как они питаются, передвигаются, размножаются и так далее. Но вот происходит катастрофа, и все эти признаки теряют свое значение. Важно лишь то, где эти организмы обитают. Редкие события быстро меняют правила игры, и все начинается сначала. Катаклизм переживают не всегда “лучшие” в каком-либо отношении существа. Если “победить” означает “пережить катастрофу”, то побеждает тот, кто расселился повсеместно.

Принцип “созидательного разрушения” хорош не только в экономике, но и в биосфере. Выжившие в глобальной катастрофе получают в наследство новую Землю, на которой конкуренция слабее. Вспомните детскую игру в “царя горы”: самый сильный и драчливый мальчишка сидит на вершине и никого туда не пускает – просто потому, что он большой и он наверху. Вы никакой силой не можете его оттуда столкнуть. Что может вам помочь выиграть? Только случай. Например, мама позовет его домой обедать, и вершина освободится. Драчун уйдет, и вы просто займете его место со всеми преимуществами нахождения наверху.



Каждая катастрофа оставляет выживших на обновленной Земле.

Эта схема справедлива для выживания видов. Если успешно развивающийся вид занимает какую-либо нишу, например, в определенной зоне океана, другим вряд ли удастся завладеть тем же пространством. Но если в результате катаклизма этот “царь горы” исчезает, выжившие могут занять призовое место практически без борьбы.

Человек – вид, сидящий на вершине горы спустя три с половиной миллиарда лет после появления жизни на Земле. Что это означает для нас?

Многие наши экспедиции в поисках окаменелостей оказались на удивление неудачными. Не была исключением и работа с Фаришем Дженкинсом в Африке в 90-х годах. Несколько месяцев мы безуспешно пытались найти следы млекопитающих в Намибии в отложениях возрастом двести миллионов лет, и, наконец, для поднятия настроения Фариш решил отвезти нас на север на сафари. Через несколько дней езды на машине мы оказались в Национальном парке Этоша на границе с Анголой. В этой пустынной местности источники воды как магнит притягивают все живое. Каждое утро на рассвете мы вылезали из постелей, ставили машины у источников и часами смотрели, как приходили и уходили бесчисленные животные. Первыми появлялись птицы. Потом зебры и буйволы. Иногда поблизости ожидала своей очереди стая гиен. При появлении льва все пускались врассыпную, а затем, когда казалось, что опасность миновала, все возвращались к нормальному ритму еды и питья.

В этом мире победителями были крупные млекопитающие и птицы, но мой мозг все еще был занят анализом горных пород возрастом двести миллионов лет. В те времена Землю населяли пресмыкающиеся всех вообразимых и невообразимых видов, млекопитающие тогда были не крупнее землеройки, а птиц и вовсе не существовало. Современная жизнь у водопоя является результатом катастроф, случившихся миллионы лет назад. До этих катастроф у источников воды собирались совсем другие существа, весьма преуспевающие. Так, здесь жили крупные и мелкие динозавры, травоядные и хищные. В меловом периоде вместо слонов и крупных травоядных млекопитающих здесь жили цератопсы и гадрозавры. Место львов занимали тираннозавры, другие крупные динозавры, а также крокодилы. Динозавры и их родственники были “царями горы” на протяжении миллионов лет, пока их не уничтожила катастрофа. И только тогда потомки маленького мышеподобного существа с зубами размером с песчинку, которое динозавры раздавили бы, не заметив, выросли и стали новыми “царями горы”.

## Глава 8

### То в жар, то в холод

//-- 40 миллионов лет --//

Полярные летчики – особенные люди. Годы одиночных полетов дали им независимость и способность великолепно ориентироваться на местности. Долгие часы наблюдения за землей научили их замечать то, что скрыто от глаз других. Во время одного из полетов в 2002 году наш пилот неожиданно спикировал – с высоты три тысячи метров до шестидесяти! – и направился к узкой отмели вблизи фьорда. За эти мгновения, когда вся жизнь пронеслась у меня перед глазами, он, заядлый рыболов, внимательно рассмотрел косяк рыбы, который увидел сверху. Даже если бы я раскрыл глаза, я все равно не сумел бы разглядеть арктического гольца с такой высоты!

В 1985 году полярный летчик Пол Тадж осуществлял перелеты между лагерями на канадском острове Аксель-Хейберг и проливом Эврика (это одни из самых впечатляющих уголков Севера). Когда небо чистое, а земля свободна от снега, цвета и очертания предметов отчетливы настолько, что на расстоянии нескольких километров можно разглядеть мельчайшие детали. Тихие долины окружены бесплодными горными хребтами.

Лед, ветер и сильный мороз построили в этих горах колонны, возвели стены и прорыли пещеры, которые кажутся сверхъестественными. Это ощущение усиливается из-за отсутствия растений: здесь нет ни деревьев, ни кустов, ни даже травы.

Разглядывая сверху коричневые, серые и красные камни, Тадж обнаружил нечто необычное. Ветер выбил в камнях углубление, из которого торчало нечто, напоминающее стволы деревьев. Не веря в то, что здесь могут расти деревья, особенно на камнях, Тадж посадил вертолет. И нашел не только стволы, но и груды веток и пни. Тадж собрал образцы и передал их палеоботанику Джеймсу Бейсингеру из Университета Саскачевана. Бейсингер забросил все дела и занялся организацией экспедиции настолько быстро, насколько позволяли финансовые возможности и улаживание формальностей. (Подготовка экспедиции в Арктику может занять целый год или даже больше.)



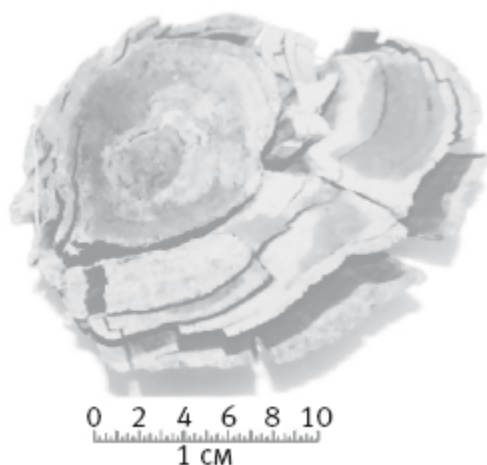
Бейсингера ждал целый мумифицированный лес, спрятавшийся в разрушенных ветром скалах. Холодный, сухой воздух сохранил и клеточную структуру древесины и листьев. Эта древесина даже может гореть. Но это совсем не простые дрова: возраст деревьев – свыше сорока миллионов лет.

Обнаруженные стволы принадлежали хвойным деревьям, достигавшим пятидесятиметровой высоты. В прошлом это место не было безжизненной пустошью: оно было покрыто примерно такой же растительностью, как север современной Калифорнии. Конечно, в наши дни самые высокие деревья в этих северных краях – карликовые ивы высотой всего несколько сантиметров. Арктические ивы почти так же трудно разглядеть с высоты человеческого роста, как окаменевший лес Таджа с воздуха.

Примерно за двадцать лет до полета Таджа в кабинет знаменитого палеонтолога Эдвина Колберта в Американском музее естественной истории в Нью-Йорке пришла посылка. Отправителем был геолог из Университета Огайо. В посылке лежала кость размером с человеческий палец, обернутая официальным бланком университета. Геологи нашли этот образец во время экспедиции и хотели узнать мнение Колберта.







Тадж обнаружил стволы деревьев (слева) возрастом более 40 млн. лет с прекрасно сохранившейся структурой древесины (справа).

У Колберта был богатый опыт полевых работ на юго-западе Америки, и он смог мгновенно идентифицировать кость: у нее были текстура и форма, характерные для челюсти древнего земноводного, жившего более двухсот миллионов лет назад. Эти существа напоминали толстых крокодилов и достаточно долго обитали в разных уголках планеты. Однако этот столь обычный по виду фрагмент имел необычное происхождение: его нашли в Трансантарктических горах, в трехстах километрах от Южного полюса.

Колберт был заядлым охотником за окаменелостями, и в его голове мгновенно родилась идея. Это же потрясающая возможность: в Антарктиде никто прежде не искал окаменелости! Колберт быстро собрал великолепную команду экспертов из США и Южной Африки, которые за годы работы в горах такого возраста научились быстро находить окаменелости. Если в Антарктиде есть ископаемые, они их отыщут.

Едва ступив на антарктический песчаник, Колберт и его коллеги сразу начали собирать окаменелости, которые на этих голых холмах лежали буквально повсюду. Одно из найденных существ имело тело собаки среднего размера, но вместо челюсти хищника у него имелся большой птичий клюв. Но Колберта удивил не странный вид этого существа-хищника, а нечто иное. Палеонтологи знали об этом существе уже несколько десятилетий. В 30-х годах южноафриканские геологи обнаружили целый пласт породы, широкой полосой пересекавший пустыню Кару, где сохранились кости тысяч таких животных. Ареал обитания этих существ, названных листрозаврами, распространяется на Южную Америку, Индию и Австралию. Теперь их нашли и в Антарктиде, и это стало дополнительным доказательством справедливости теории континентального дрейфа. Совпадение характера горных пород, сходство береговых линий и одинаковые окаменелости позволили по-новому рассмотреть вопрос о происхождении Антарктиды: в прошлом этот континент находился в центре гигантского суперконтинента, включавшего в себя также Африку, Австралию и полуостров Индостан. Этот участок суши покрывал значительную часть Южного полушария.

Найденные группой Колберта окаменелости указывали еще на один факт из прошлого Антарктиды. Листрозавры, как и земноводные, были холоднокровными животными, способными жить только в теплом тропическом или субтропическом климате (вспомните, например, крупных саламандр или ящериц). То же относится и к обнаруженным здесь древним растениям. Колберт работал почти в центре огромного ледяного континента,

вблизи от того места, где почти за шестьдесят лет до этого замерзли насмерть Роберт Ф. Скотт и его команда. Однако множество фактов указывало на то, что Антарктида когда-то была теплой и влажной страной с тропической флорой и фауной.

Следующие экспедиции открыли новые факты, подтверждавшие различие между печальным настоящим и блестящим прошлым континента. На смену миру, открытому Колбертом, пришел другой, населенный динозаврами и их родственниками. В еще более молодых породах возрастом около сорока миллионов лет сохранились остатки дождевых лесов, следы земноводных, пресмыкающихся, птиц и множества млекопитающих. Большую часть своей истории Антарктида была настоящим раем.

А потом, начиная с сорока миллионов лет назад, Антарктида стала покрываться льдом. Началось крупнейшее, наиболее полное в истории нашей планеты вымирание жизни на целом континенте. И от богатого животного и растительного мира не осталось ничего.

Тадж нашел остатки жизни вблизи Северного полюса, а Колберт – у Южного. Первый обнаружил в регионе, где сегодня простираются ледяные пустыни, леса, характерные для умеренного климата, а второй – тропических животных. Наша нынешняя эпоха – с полярными льдами – представляет собой аберрацию: на протяжении большей части истории климат на всей планете был теплым, почти тропическим. Древние горные породы, почти как увеличительные стекла, позволяют нам увидеть, что наш довольно холодный мир – это ненормальное состояние Земли. Это великое похолодание стало одним из главных факторов, определивших форму нашего тела, нашу жизнь и нашу способность воспринимать мир.

### **Измеряем температуру**

Карл Саган однажды высказался на тему парадоксальности климата на Земле. Солнце не является источником постоянного излучения. Оно начало свою “карьеру” как довольно тусклая звезда примерно 4,6 миллиарда лет назад и с тех пор разгорается. Теперь яркость и тепло его излучения примерно на 30 % выше, чем в начале. При таком положении вещей Земля должна была быть замерзшей пустыней в прошлом и кипящим котелком – сейчас. Однако все термометры на планете показывают иное. На планете должно быть горячо, как в аду, но мы видим множество ледников. А в горных породах возрастом около трех миллиардов лет, когда Земля должна была быть ледяным шаром, обнаружены следы присутствия жидкой воды. Конечно, у нас бывает и холодно, и жарко, но по сравнению с Венерой и Марсом, на поверхности которых температура составляет +480° и –60 °С, наша Земля – просто райский уголок. Где-то на нашей планете имеется термостат, который смягчает резкие колебания температуры.

О присутствии такого термостата догадался один упрямый шведский студент. Для начала он заявил научному руководителю, что разработал совершенно новую теорию электропроводности. И услышал в ответ: “До свидания”. Однако стойкость вознаграждается. Возможно, порадовав своих с облегчением вздохнувших преподавателей, Сванте Август Аррениус в 1881 году отправился в Стокгольм, чтобы работать в Шведской академии наук под руководством одного из профессоров. Там он начал обдумывать другие научные проблемы.

Одна такая проблема, можно сказать, стояла у него перед глазами. Он видел, как

фабричные трубы извергают дым – говоря его собственными словами, “превращают наши угольные запасы в пар”. Аррениус знал, что основной компонент дыма – углекислый газ – способен удерживать тепло. Он провел несколько вычислений, показавших, что повышение содержания углекислого газа в воздухе приводит к удерживанию тепла и повышению температуры на планете. У этой идеи в последующие годы было не много сторонников, зато Аррениус получил Нобелевскую премию за цикл работ, ставших продолжением его, казалось бы, неудачной диссертации, так расстраивавшей преподавателей.

В основе известного всем парникового эффекта лежат найденные Аррениусом закономерности. Чем больше углекислого газа попадает в атмосферу, тем больше планета накапливает тепла. Верна и обратная закономерность. Но углерод в атмосфере играет и более важную роль, которая становится понятна лишь при анализе событий, произошедших миллионы лет назад.

Персонаж известного телесериала [“Все в семье” (All in the Family)] Арчи Банкер, рассуждая о пиве, заметил: “Ты не можешь им обладать – ты можешь только взять его на время”. Эта сентенция справедлива в отношении каждого атома в нашем организме: мы являемся временными обладателями элементов, составляющих наше тело. И мало какие из этих элементов играют в нашей жизни (и в жизни планеты) столь же важную роль, как углерод. Связь между отдельными частями Земли зависит от круговорота углерода в воздухе, камнях, воде и наших телах. Чтобы увидеть эту связь, живые организмы, камни и океаны нужно рассматривать как этапы превращения углерода в ходе эволюции Земли.

Если смотреть на вещи так, то становится ясно: содержание углерода в воздухе определяется тонким равновесием. Атмосферный углерод смешивается с водой и выпадает в виде чуть кисловатых осадков. Последствия этого мы наблюдаем ежедневно. Здания Чикагского университета построены в основном в конце XIX века, но многие химеры на водостоках уже “потеряли лицо”. Кислотные дожди разъедают камни, где бы те ни находились: на склонах гор, в галечных россыпях или прибрежных утесах. Когда кислотные дожди разрушают камни, из них тоже выделяется углерод, а обогащенная углеродом вода стекает в ручейки, реки и в конечном счете в океаны. Здесь углерод включается в тела и клетки морских обитателей: моллюсков, рыб и планктона. Остатки этих существ, содержащие углерод, оседают на океаническом дне и становятся его частью. И, как нам известно благодаря исследованиям Мэри Тарп, Брюса Хейзена и Гарри Гесса, морское дно подвижно, что обуславливает круговорот веществ в земных недрах.

В результате этой совокупности процессов углерод удаляется из атмосферы и поступает в горячие недра Земли. Если бы этот процесс был однонаправленным, в воздухе не осталось бы углерода и Земля, лишившаяся согревающей газовой оболочки, замерзла бы. Однако этого не происходит: существует механизм, обеспечивающий круговорот углерода. Из земных недр углерод выбрасывается обратно в атмосферу в составе вулканических газов. Именно извержения вулканов являются основным источником углерода, который мы вдыхаем. Обычно вулканы выбрасывают огромные количества водяного пара, диоксида углерода и других газов: согласно некоторым оценкам, ежегодно они поставляют в атмосферу свыше ста двадцати миллионов тонн диоксида углерода.



Миллионы лет углерод попадает в атмосферу в составе вулканических выбросов, а затем постепенно возвращается на дно океанов в виде минеральных отложений, и цикл повторяется. Эта связь осуществляется посредством кислотных дождей, которые выводят углерод из воздуха и смывают в океан, где он включается в осадочные породы.

В этой цепи событий каждая стадия понятна, но конечный результат удивителен: выходит, что эрозия гор связана с климатом. Эрозия гор под действием кислотных дождей выступает в роли гигантской губки, собирающей углекислый газ. Снижение количества углекислого газа в атмосфере приводит к снижению температуры на планете. С другой стороны, события, повышающие содержание углерода в воздухе (усиление вулканической активности или замедление выведения углекислого газа из воздуха), очевидно, способствуют повышению температуры. При прочих равных условиях усиление эрозии снижает температуру, а ослабление эрозии ее повышает.

Круговорот углерода связывает горные породы с изменениями климата и в конечном счете объясняет парадокс Сагана о Солнце. Температура на планете сохраняется в узком диапазоне благодаря перемещению углерода между воздухом, дождем, горами и вулканами. При жаркой погоде усиливается эрозия горных пород, что активизирует процесс выведения углерода из атмосферы и приводит к снижению температуры. Затем цикл идет в обратную сторону: снижение температуры ослабляет эрозию и увеличивает содержание углерода в атмосфере, что приводит к повышению температуры. Наличие жидкой воды на нашей планете возможно только благодаря этому равновесию. Иначе не было бы ни нас самих, ни окружающей среды, от которой мы зависим. Жидкая вода служит своеобразным индикатором вроде канарейки в шахте. Если жидкой воды слишком много или слишком мало, это указывает на долгосрочный сдвиг в функционировании планеты, на то, что у нее “жар” или “озноб”.

Что же произошло около сорока миллионов лет назад, когда Земля стала замерзать у полюсов? Похолодание произошло в то же время, что и сильное снижение уровня углерода в атмосфере. Возникает вопрос: почему изменился уровень углерода?

Морин Раймо поступила в университет, чтобы изучать климат и влияющие на него геологические процессы. И, подобно Аррениусу, написала диссертацию, вызвавшую у рецензентов бурную реакцию. Один из них назвал работу “полной ерундой”.

Путь Раймо начинался, как путь любого другого студента: она слушала лекции по основным дисциплинам, касающимся ее предмета. В 80-х годах на семинарах по геологии много говорили о связи температуры на Земле с балансом углерода. В классической статье Роберта Бернера, Антонио Ласаги и Роберта Гаррелса обсуждались химические детали этой зависимости. Для краткости статью называли VLaG – по первым буквам фамилий авторов. Все читали VLaG, все пытались сверять с VLaG свои гипотезы, хотя абсолютно все, включая авторов, понимали, что блестящая статья все еще требует детализации.

Раймо слушала обычный курс лекций, на которых излагались соображения VLaG. Кроме того, она слушала лекции об образовании рек и гор и о тектонических процессах. И, в отличие от остальных студентов-геологов, она сумела логически все это связать.

Известно, что резкое понижение температуры на планете началось сорок миллионов лет назад, но не был известен геологический механизм, вызвавший это изменение. Столь сильное похолодание могло быть вызвано лишь массивным выведением углерода из атмосферы, которое, в свою очередь, могло произойти только в результате какого-либо глобального изменения.

Раймо смотрела на глобус и вспоминала лекции по тектонике. Глобальное похолодание началось в период кардинального поворота в истории планеты. Именно тогда континентальная плита, в состав которой входил полуостров Индостан, перемещавшаяся к северу в течение сотен миллионов лет, въехала в Азию. Результат этого соударения можно сравнить со столкновением двух пачек бумаги на поверхности стола: бумага изгибается и задирается кверху. Аналогичным образом столкновение континентов привело к возникновению Тибетского нагорья и Гималаев.

Научный руководитель Раймо (не тот, который назвал ее работу ерундой!) размышлял, как новый горный хребет мог изменить направление ветров или способствовать усилению штормов. Раймо же заинтересовалась тем, как новый горный хребет и плато могли повлиять на температурный баланс на планете.

Тибетское нагорье – широкое пустынное пространство, состоящее практически из одних голых скал. Высота плато – больше трех с половиной тысяч метров. Здесь сконцентрировано свыше 82 % площади обнаженных каменных пород планеты. Появление такого горного массива привело к усилению эрозии его поверхности. Когда мы смотрим на Гималаи, большинство из нас видит череду мрачных гор, а Раймо увидела в них гигантский “пылесос”, вытягивающий углекислый газ из атмосферы, и реки, уносящие углерод в океан. Вслед за снижением содержания углерода в атмосфере началось похолодание. Образование Тибетского нагорья охладило Землю, и произошло это в результате удаления углерода из воздуха за счет эрозии горных пород.

Теория Раймо объясняет множество фактов, но ее доказательство больше напоминает уголовный процесс на основании косвенных улик, а не строгий математический расчет. Решить вопрос можно только при наличии независимых подтверждений и доказательств. Раймо предсказала следующее: для подтверждения теории нужны инструменты,

способные соотнести скорость подъема плато (и уровень эрозии) с количеством углерода в воздухе. В древних породах есть специфические высотометры – чувствительные к высоте растения. Во время подъема плато уровень углерода в воздухе упал, но мы все еще не можем с достаточной точностью соединить между собой все детали, чтобы доказать эту теорию. Еще предстоит ответить на вопрос, достаточно ли было эрозии Тибетского нагорья для изменения климата на Земле – или похолоданию способствовали какие-то другие механизмы.

Сорок миллионов лет назад карта Земли быстро менялась, а с ней и среда обитания живых существ. Столкновение Индии и Азии, возможно, повлекло за собой снижение уровня углекислого газа в воздухе и глобальное похолодание, однако более точный анализ временных закономерностей замерзания Антарктиды говорит о том, что вклад в этот процесс внесли и другие факторы. Сорок миллионов лет назад антарктические дождевые леса уступили место пейзажу, напоминающему пейзаж современной Южной Патагонии. Около тридцати миллионов лет назад флора и фауна начали беднеть, а двадцать миллионов лет назад здесь образовались первые постоянные ледники. Распространились карликовые растения, как в современной тундре. А десять миллионов лет назад в Антарктиде уже царило опустошение.

Взглянув на физическую карту, вы заметите, что Северное полушарие окрашено в основном в коричневый цвет (это суша), а Южное полушарие – в голубой (это океан). Северное полушарие сложено из крупных, связанных друг с другом континентов, а Южное образовано бескрайним океаном. В этом простом наблюдении кроется ключ к загадке замерзания планеты, исчезновения жизни в Антарктиде и изменений климата на протяжении большей части истории человечества.

К началу 70-х годов XX века, когда движение тектонических плит стало признанной реальностью, почти неизведанным оставалось большое водное пространство – южные океаны, прославленные Робертом Ф. Скоттом, Эрнестом Шеклтоном, Руалем Амундсенем и другими путешественниками. Бурные воды этих океанов разделяют лишь айсберги и голые скалистые острова. Широты от 40 до 70 градусов получили соответствующие прозвища: “ревущие 40-е”, “неистовые 50-е” и “тремящие 60-е”. Океаническое дно в этих районах было исследовано в последнюю очередь – из-за течений и ветров, сильно затрудняющих плавание.

Закончив составление карт дна Атлантического и Тихого океанов, специалисты, помогавшие еще Хейзену и Тарп, занялись изучением южных морей. В 1972–1976 годах были взяты пробы подводного грунта в двадцати шести местах. В каждом из этих мест, намеченных заранее с помощью морских карт, на поверхность были подняты керны грунта. Каждый образец подвергли химическому анализу для определения его возраста и происхождения. Были составлены такие же карты дна южных морей, как десятью годами ранее Мэри Тарп и Брюс Хейзен составили для Атлантики.

Анализ грунта южных морей изменил представления об этих местах. Антарктида как кольцом окружена гигантской рифтовой долиной с расплавленными внутренностями. Как и рифтовая долина на дне Атлантического океана, это место является центром образования нового океанического дна и центром расширения земной коры. Загадка формы континентов и обнаруженного Колбертом листрозавра разъяснилась: когда-то вся южная часть земного шара была единой сушей, сложенной из современных Антарктиды, Австралии, Южной Америки и Африки. Знакомых нам океанов тогда не было. Затем



вокруг Антарктиды зародилось кольцо вулканов, и суперконтинент расщепился. Его части стали удаляться друг от друга. Одновременно произошли три события: Африка, Австралия и Южная Америка сдвинулись к северу; Антарктида осталась в одиночестве на Южном полюсе; возникли океаны, разделившие южные континенты. Ни одно из этих изменений не предвещало ничего хорошего для обитателей Южного полюса.

Изоляция вредна не только для человека, но и для континентов. Океаническое течение, так досаждающее морякам, огибает Антарктиду с востока на запад. Оно появилось тогда, когда для него освободилось место – после расхождения континентов. Океанические течения прекрасно переносят тепло. Например, Великобритания находится на одной широте с северной частью Лабрадора. Но в одном из этих мест умеренный климат, а в другом довольно холодно. Почему? Своим мягким климатом Великобритания обязана теплым течениям, поднимающимся от экватора, а в западной части Атлантики таких течений нет. Пока Антарктида не была отделена от других континентов, океанические течения с экватора приносили сюда тепло, но после разделения суши теплое течение исчезло, уступив место круговому. Это и заморозило Антарктиду: все тепло просто улетучилось. Жизнь на континенте буквально замерзла насмерть (кроме той, что успела перебраться в более теплые края).

Переустройство карты мира изменило климат. Движение континентов и расширение морского дна привели к изменению течений, увеличению интенсивности эрозии и снижению уровня углерода в атмосфере. Все это привело к гибели континента. Последствия этого мы видим повсюду.

## **Мы это видим**

Люди – зрячие существа, способные различать закономерности в этом запутанном мире. Полярные летчики вроде Пола Гаджа научились различать объекты с воздуха. Дети умеют находить рисунок в замысловатой ряби пазла, рыбаки умудряются видеть тени рыб, а врачи-рентгенологи спасают жизни, дешифруя тени на рентгеновских снимках. Наш вид смог выжить благодаря способности находить порядок в окружающем нас хаосе. Эта способность обеспечивается слаженным действием наших глаз и мозга: вместе они помогли нам научиться видеть, выживать и процветать.

Мы живем в невероятно пестром мире и при этом часто забываем, что различаем лишь малую часть цветовой палитры. До нас доходит свет в широком диапазоне длин волн: от ультрафиолетового до инфракрасного. Но даже такие приспособления, как очки ночного видения, позволяют лишь в малой степени уловить скрытые от нас части спектра. Другие животные различают свет в более широком диапазоне. Птицы и некоторые виды рыб различают гораздо больше оттенков синего цвета. Каждый вид, будь то орел, форель или человек, настроен на восприятие мира особым образом. Наша способность восприятия сформировалась под влиянием тех сил, что заморозили полюса Земли.

В глубине глаза человека и других млекопитающих расположена сетчатка размером с почтовую марку, которая воспринимает свет через хрусталик. В сетчатке около пяти миллионов специализированных клеток – маленьких приемников, способных воспринимать красный, желтый и синий: три основных составляющих видимого света. Этой способностью клетки обязаны особым белкам, которые меняют форму под действием света с соответствующей длиной волны. Клетки сетчатки могут распознавать

около сотни цветов. В головном мозге эти сигналы соединяются, что позволяет нам различать палитру примерно из 2,3 миллиона оттенков.

Наши ближайшие родственники в Старом Свете – шимпанзе, гориллы, орангутаны и другие обезьяны – распознают те же цвета, что и мы. Наши глаза имеют очень похожее строение, и воспринимать цвет нам помогают одни и те же белки сетчатки. Наши более дальние родственники среди приматов, как те, что живут в Южной Америке, имеют другое зрение: самцы некоторых видов цвета не различают. Уже в XIX веке ученые знали о расщеплении ветви приматов: все обезьяны Старого Света обладают полноценным цветовым зрением, а их родственники из Нового Света этой способности лишены. Есть ли какие-либо особенности в образе жизни обезьян, объясняющие это различие?

Первая подсказка была получена благодаря удивительному открытию. Южноамериканские обезьяны-ревуны, как следует из их названия, прославились особой манерой общения. Великий натуралист Александр фон Гумбольдт, описавший их в XIX веке, отмечал, что ревуны отличаются от прочих приматов “глазами, голосом и печальным видом”. Ученые, изучавшие поведение этих обезьян в 90-х годах XX века, обнаружили, что, в отличие от других южноамериканских обезьян, они обладают таким же полноценным цветовым зрением, как и люди. С этим связано принципиальное различие в характере питания ревунов и их южноамериканских родственников. Все другие обезьяны едят в основном фрукты, а ревуны питаются листьями.

Это наблюдение подтолкнуло студента Натаниэля Домини, бывшего футболиста из Университета им. Джона Хопкинса, к размышлениям о происхождении цветового зрения. Может быть, история с ревунами отражает общее правило, и принципиальное различие в рационе объясняет различия в цветовом восприятии у разных ветвей приматов?

Национальный парк Кибале на западе Уганды располагается в зоне богатых вечнозеленых и листопадных лесов. Здесь живут леопарды, птицы-носороги и лесные слоны (необычно маленькие и волосатые). Еще здесь обитает множество приматов – целых тринадцать видов, в том числе шимпанзе. Кибале служит домом и четырнадцатому виду приматов – человеку, причем многие представители этого вида живут на биостанции Университета Макерере и изучают своих диких родственников-приматов. В 1999 году здесь работал и Домини. Его единственной задачей было наблюдать за тем, как едят обезьяны.

У Домини и его научного руководителя Питера Лукаса имелся план: они собирались пронаблюдать за каждым видом приматов и в точности зафиксировать, сколько, чего и когда они едят. Если у обезьян были какие-либо закономерности в способах питания, ученые должны были это заметить. У научной группы имелась и переносная лаборатория, которую они описали позднее в статье “Полевой набор для анализа физических, химических и пространственных характеристик пищи приматов”. В этот набор, умещавшийся в рюкзак, входило устройство для определения жесткости пищи, спектрометр для измерения цвета и основных питательных свойств пищи, а также ряд других приспособлений для описания внешнего вида и веса всего, что ели обезьяны.

Домини, Лукас и их помощники десять месяцев наблюдали за приматами. Когда им не мешали бандиты или террористы (один раз ученые вынуждены были скрываться в американском посольстве в Уганде), исследователи работали круглосуточно (в общем счете проведя за наблюдениями 1170 часов). Они обнаружили, что обезьяны употребляли в пищу 118 видов растений.

Обработав результаты, ученые нашли закономерность. Животные, обладающие

цветовым зрением, питаются преимущественно листьями, цвет которых варьирует от красноватого до зеленого. Причем оказалось, что обезьяны успешно отбирают листья, отличающиеся наибольшим содержанием белка при наименьшей жесткости. Их мамочки, должно быть, довольны: дети едят полезную и легко перевариваемую пищу. Ну а главный признак, по которому такие листья можно отличить от остальных – красный цвет – заметен только животным с полноценным цветным зрением.

Домини и его коллеги выдвинули гипотезу: цветное зрение позволяет животным выбирать из многих видов листьев самые питательные. Эта способность развилась тогда, когда изменение климата повлекло за собой изменение растительности.

Дополнительную информацию о появлении цветного зрения можно получить исходя из анализа ДНК. У млекопитающих, не обладающих цветным зрением, всего два белка, воспринимающих цвет, а у нас и у человекообразных обезьян Старого Света таких белков три. В 1999 году, когда уже были достигнуты значительные успехи в технологиях изучения ДНК, был проведен сравнительный анализ последовательности и структуры этих белков. Внутри белковых последовательностей оказался спрятан главный ключ к разгадке происхождения цветного зрения. Три белка, позволяющие нам видеть мир в цвете, являются дубликатами двух белков других млекопитающих. Сравнивая последовательности старых и новых копий, можно определить, когда произошло удвоение. Все виды с тремя генами происходят от общего предка, жившего 30–40 миллионов лет назад. Именно тогда у наших ближайших предшественников, человекообразных обезьян, появилось цветное зрение.

А на Земле в это время стало холоднее. В Арктике и Антарктике леса стали исчезать, а на смену им пришли льды. Широко распространились травы. Плодовые пальмы и фиговые деревья, распространенные в Вайоминге и других теплых районах, постепенно исчезли, уступив место лиственным деревьям с жесткой или мягкой, питательной или несъедобной листвой. Столь необходимое теперь приматам Уганды цветное зрение обеспечило их предкам успешное развитие в период глобального похолодания. С холодами появилась новая флора, что сделало способность различать цвета более ценной.

Пол Тадж разглядел стволы деревьев на необъятных просторах, палеонтологи находят малюсенькие окаменелости среди груд камней, а наши предки-приматы пережили глобальное изменение климата благодаря своей способности находить съедобные листья. Каждый раз, когда вы любуетесь каким-либо цветным изображением, вы должны благодарить Индию, въехавшую в Азию, континенты, отделившиеся от Антарктиды, и обледенение полюсов. Все эти события оказались взаимосвязанными благодаря круговороту углерода.

## **Глава 9**

### **Голые факты**

//-- 10 000 лет --//

Мне казалось, что наш самолет вот-вот рухнет. При таком сильном встречном ветре восьмисоткилометровый путь из Рейкьявика, столицы Исландии, к месту назначения в отдаленной восточной части Гренландии мог занять целый день. “Де-Хэвиленд Твин Оттер”, на котором мы летели – рабочая лошадка Арктики. Самолет развивает скорость до 80 км/ч и может приземлиться даже на малюсеньком участке каменистой тундры или льда

в самых отдаленных уголках Арктики. Скрючившись в пространстве, едва способном вместить четырех членов экспедиции, пилотов и багаж, я пытался вообразить, как первые исследователи Арктики – те самые, кто в XIX веке пришел сюда в шерстяной одежде, кожаных ботинках и с одной только солониной, – чувствовали себя, впервые попав на Север. При небыстром полете, сидя у окна, я мог все как следует рассмотреть.

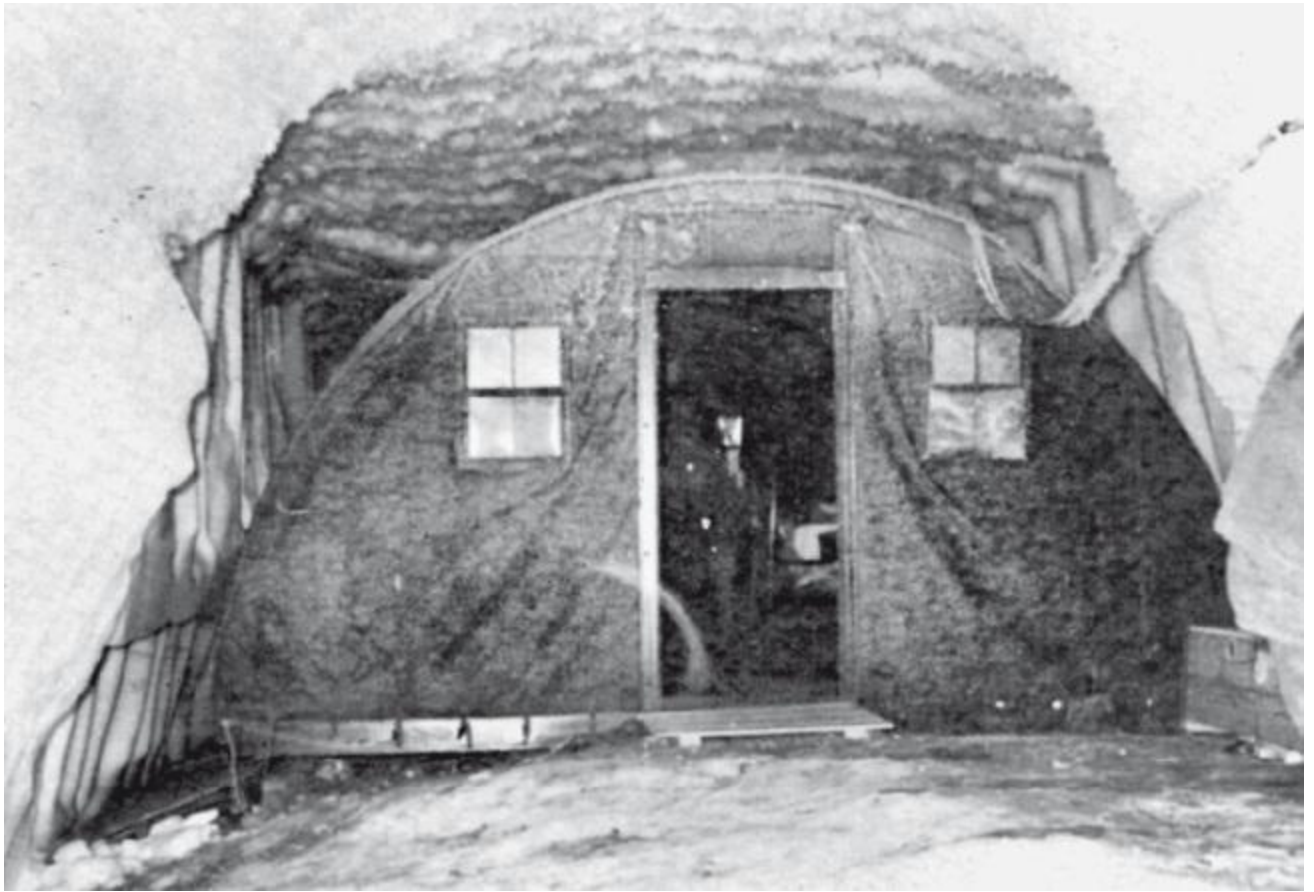
По мере продвижения к северу ландшафт меняется: растительность исчезает, льда становится больше. В море попадаются айсберги, а дальше лед закрывает воду сплошным панцирем. С высоты трех тысяч метров лед кажется то ослепительно белым, то голубым, то синим, то зеленым. И таких форм он не образует больше нигде на Земле: иногда это ровные кубы, иногда – длинные бруски или кристаллы, похожие на алмазы.

При медленном приближении к Гренландии на небольшой высоте кажется, что лобовое стекло все время затянуто дымкой. Когда вы подлетаете ближе, дымка оказывается гигантским ледяным пространством, развернувшимся настолько широко, насколько хватает глаза. Центр острова занят одним из самых крупных на планете ледников. Этот ледяной щит поднимается в высоту почти на два километра и уходит на несколько километров в глубину, а по площади он сопоставим с Техасом. Коренная порода выходит на поверхность лишь на прибрежных скалах. Вся остальная поверхность острова погребена под толстым слоем льда. Этот ледяной щит – безжизненная пустыня, которую лишь изредка беспокоят люди.

В 50-х годах в этом царстве льда была отмечена необычная активность. Гренландия в годы холодной войны приобрела стратегическое значение. В северной части острова американские военные начали реализацию секретного проекта Iceworm (название вполне в духе “Доктора Стрейнджлава”) [4 - “Доктор Стрейнджлав, или Как я перестал бояться и полюбил бомбу” – фильм Стэнли Кубрика, созданный в разгар холодной войны (1964) как антимилитаристская сатира. Нил Шубин подчеркивает комичность названия Iceworm (“ледяной червь”). Ледяной червь – единственный вид кольчатых червей, живущий исключительно во льду.].

План, состряпанный где-то в тридцатикилометровых коридорах Пентагона, предусматривал размещение в Северной Гренландии, в толще льда, шестисот ядерных боеголовок. Эти бункеры должны были соединяться туннелями, образующими подземный город – Кэмп-Сенчури (Camp Century).

Работы по реализации секретного проекта начались в 1959 году. С помощью тяжелой техники, привезенной по воздуху с южных баз, прорыли двадцать один туннель. В лучшие времена подледный город населяли двести человек. Там имелись магазин, госпиталь, театр, даже церковь. Электричеством Кэмп-Сенчури обеспечивал первый в мире переносной ядерный реактор Alco RM-2A. Тепло реактора расплавляло лед, и вода шла в дело. Это самодостаточное и почти исключительно подледное поселение напоминало муравейник.



На пике активности главная “улица” Кэмп-Сенчури тянулась на триста метров. К 1969



году эта зона была раздавлена льдом.

Кэмп-Сенчури находился на достаточно близком расстоянии для нанесения удара по СССР и представлял собой идеальную военную базу. План работал отлично, за одним исключением: лед двигался. К 1966 году стало ясно, что двигался он настолько активно, что разрушал туннели и уничтожал дорогостоящее оборудование. На современных фотографиях видны изуродованные машины и брошенные жилища – все, что осталось в древних льдах от больших человеческих планов.

Работа в лагере все-таки имела определенную ценность, хотя и совсем не такую, на которую рассчитывал Пентагон.

### **Летние каникулы, изменившие мир**

Жан Луи Родольф Агассис родился в 1807 году. Природа наградила его обаянием, умом и безудержным стремлением к познанию природы. В детстве он собирал коллекцию животных и растений, тщательно зарисовывая все их части и органы. Он верил: чтобы понять, нужно смотреть, и этот принцип стал основой его научной деятельности. Заметив склонности сына, проявившиеся в самом раннем возрасте, родители решили отдать его в обучение к дяде, у которого было свое дело. Родители хотели, чтобы Луи вырос “деловым человеком”, а не коллекционером жуков и камней. Но они недооценили обаяние своего ребенка. Юный Агассис не смог реализовать родительские планы. Он уговорил одного из учителей упротить родителей оставить его в школе, чтобы, как он высказался позже, он мог стать “литератором”.

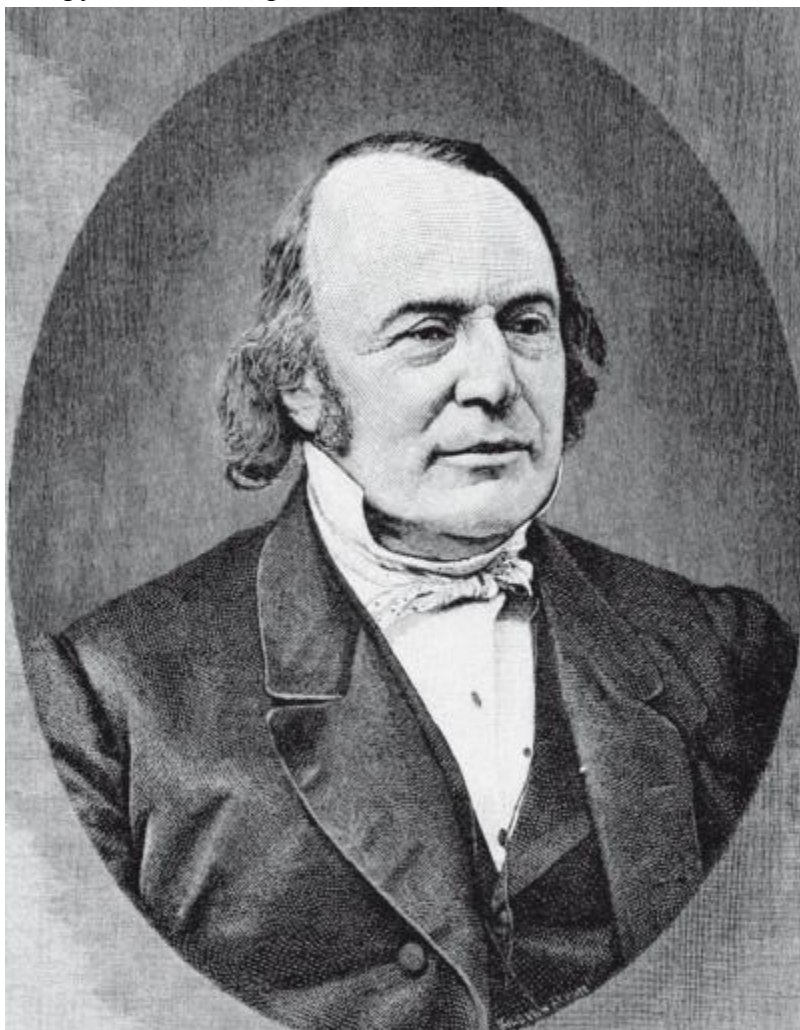
Когда Луису не было еще двадцати, он и его брат учились в Цюрихе, за сто пятьдесят километров от дома. Однажды они вынуждены были идти домой пешком, пока один состоятельный швейцарец не подвез их. Этот человек был настолько поражен сообразительностью Агассиса, что позднее написал письмо его родителям с предложением оплатить дальнейшее обучение юноши. Так начался путь Агассиса в науку, который в итоге привел его в США, где он принял участие в организации двух главных научных центров страны – Музея сравнительной зоологии в Гарварде и Национальной академии наук.

В 1837 году у Агассиса уже была семья. На летние каникулы они отправились в живописный городок Бекс. Городок расположен на берегах одного из притоков Роны и с востока и запада ограничен Альпийскими горами. Здесь действует последняя в Швейцарии соляная шахта. Узенький поезд спускает туристов на десятки метров под землю. Туннель был проложен в 20-х годах XIX века для добычи соли, которая в те времена ценилась буквально на вес золота. Когда Агассис посетил шахту, она была совсем новой, и директору доставляло большое удовольствие показывать отдыхающим местные геологические достопримечательности, которых в этой части Альп великое множество.

Незадолго до визита Агассиса директор шахты и его знакомый обнаружили в горах кое-что загадочное и теперь страстно желали узнать мнение знаменитого гостя по поводу своих находок. Они нашли гигантские валуны, некоторые размером с фургон. Причем эти валуны состояли совсем не из той породы, из которой были сложены окрестные горы. Ближайшие горы, в которых можно было найти такие камни, отстояли на сотни километров. Валуны как-то переместились, но как? При внимательном изучении валунов



обнаружились интересные детали.



Луи Агассис

Поверхность камней была покрыта отметинами, как будто сделанными киркой. И отметины эти шли не вкривь и вкось, а параллельно. Еще более загадочная картина открывалась на окрестные долины с высоты. Каждая долина была окружена грядами гальки, смятыми, как будто по ним прошли плугом. Какая-то сила двигала эти камни. Но какая?

Потоки воды не могли этого сделать. Такой сильный разлив рек, который передвинул бы валуны, оставил бы в местном пейзаже и другие недвусмысленные следы. Версию о человеческом вмешательстве также следовало отбросить. Оставалась одна возможная причина: лед.

Во время визита Агассиса лед в этих местах имелся только в высокогорных ледниках. Но что если раньше все было иначе и когда-то лед покрывал и долины? Если лед поднимался и опускался, валуны могли двигаться вместе с ним, а галька могла собираться в груды и оставлять на валунах царапины.

Для Агассиса, чьим девизом было: “Учись, наблюдая”, та поездка стала настоящим откровением. Движение льда прекрасно объясняло загадки швейцарских гор: борозды на камнях рассказывали ту же историю, что и горы гравия, да и сама форма долин. Но Агассиса вдохновила идея еще более глобальная. Путешествуя, он обнаружил, что подобная картина наблюдается не только в Альпах, но и в других уголках Европы, даже

на Средиземноморье. Движение льда не ограничивалось кантонами Швейцарии, а охватывало практически всю Европу.

Без ведома своих знакомых из Бекса Агассис решил проверить их догадку. В 1840 году он опубликовал книгу “Учение о ледниках”, которую посвятил им. В книге он утверждал, что в какой-то момент ледники распространились от Северного полюса до Средиземного моря, а затем отступили, но лишь для того, чтобы вернуться. Один из друзей предложил назвать периоды похолодания “ледниковыми”.

Личное обаяние Агассиса помогло ему убедить научные светила того времени в справедливости своей идеи. Он отвозил желающих посмотреть на камни, как когда-то его знакомые отвели его самого, побуждая увидеть ледниковое прошлое. Потребовалось множество поездок и еще больше аргументов, но Агассис не отступил. Постепенно теория ледниковых периодов завоевала широкое признание.

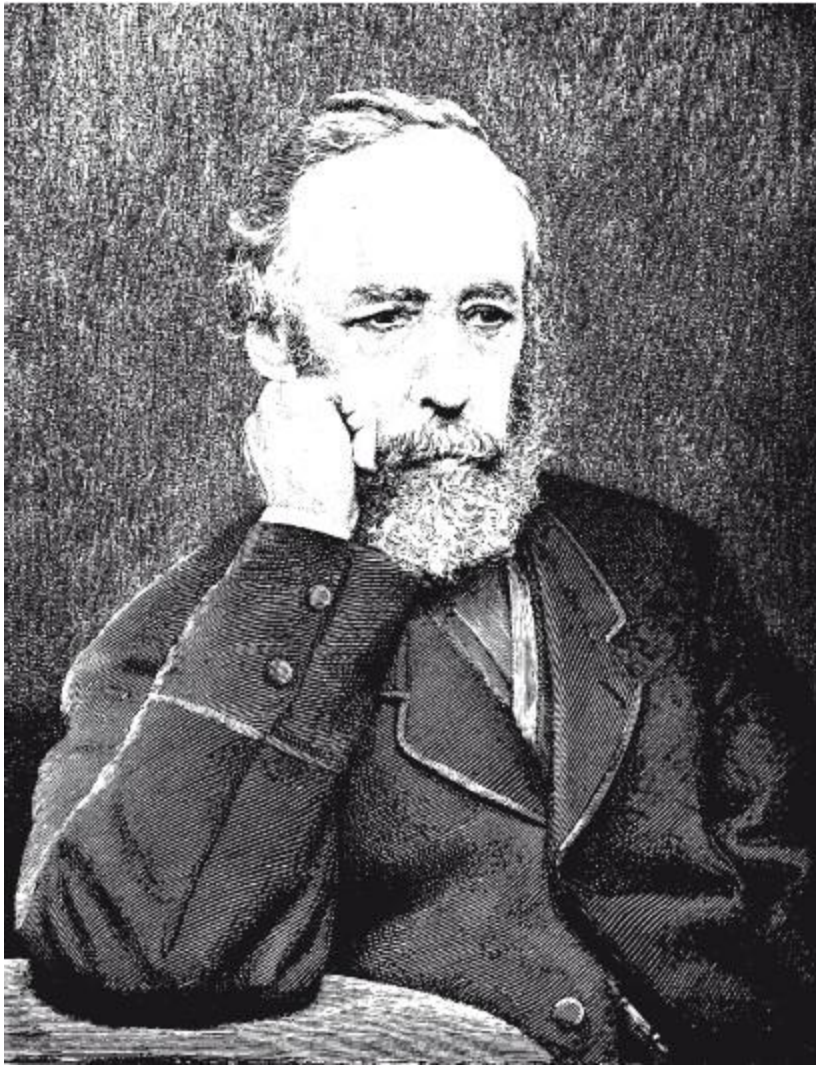
Красота этой теории в том, что, как и большинство значительных научных идей, она позволяет делать специфические предсказания. Идею Агассиса можно проверить путем изучения горных пород в разных точках планеты. Экзотические валуны, насыпи и борозды на камнях должны встречаться достаточно часто. Но задача не только в том, чтобы обнаружить закономерности, но и в том, чтобы их объяснить.

Проблема как раз и состояла в том, что никто из последователей Агассиса не мог объяснить механизм возникновения ледниковых периодов. Более того, эта идея не согласовывалась с догмой об охлаждении Земли с течением времени. Если Земля охлаждается, ледники должны не сокращаться, а расширяться. А слои гравия и валуны, обнаруженные Агассисом, указывали не на единичное событие, а на многократное повышение и понижение температуры на Земле. Почему же ледники то наступали, то отступали?

### **Танцы со звездами**

Джеймс Кролл (1821–1890) родился и вырос на ферме в Шотландии. Он не получил формального образования. Подобно Агассису, он жил, чтобы мыслить. Его занимали великие идеи и загадки. Чтобы как-то существовать, он пытался продавать страховые полисы, но, поскольку он не умел ладить с людьми, с работой он не справлялся. Тогда он открыл чайный магазин. Хотя и здесь ему не удалось совершенно оградить себя от общения, теперь у него оставалось много времени для учебы. А учиться он любил.

Взгляните на известную фотографию: мысли этого человека очень далеко, голова занята решением сложнейшей математической задачи. Его рот, с характерным выражением шотландского упрямства, не способен улыбаться. Шуток от такого человека не дождаться. Зато Кролл умел сосредоточиться, и это умение вкупе со страстью к учению позволяло ему целый год читать одну книгу. Нередко он целый день просиживал над одной страницей, вникая в какую-нибудь проблему. Им двигало желание докопаться до самой сути. Он не мог просто разглядывать мир. Он должен был понять, как мир устроен.



Джеймс Кролл. Думает он явно не о чае.

Ледниковые периоды Агассиса представляли собой прекрасную задачу. Подход Кролла к ее решению полностью отличался от подхода Агассиса. Кролл любил ставить фундаментальные вопросы, как то: “В чем причина?” И вот он взял блокнот и перо. В поисках причины ледниковых периодов он задумался о тех факторах, которые влияют на количество тепла на Земле. Источником большей части тепла является Солнце. Может быть, какие-то регулярные изменения солнечного света способствуют наступлению ледниковых периодов?

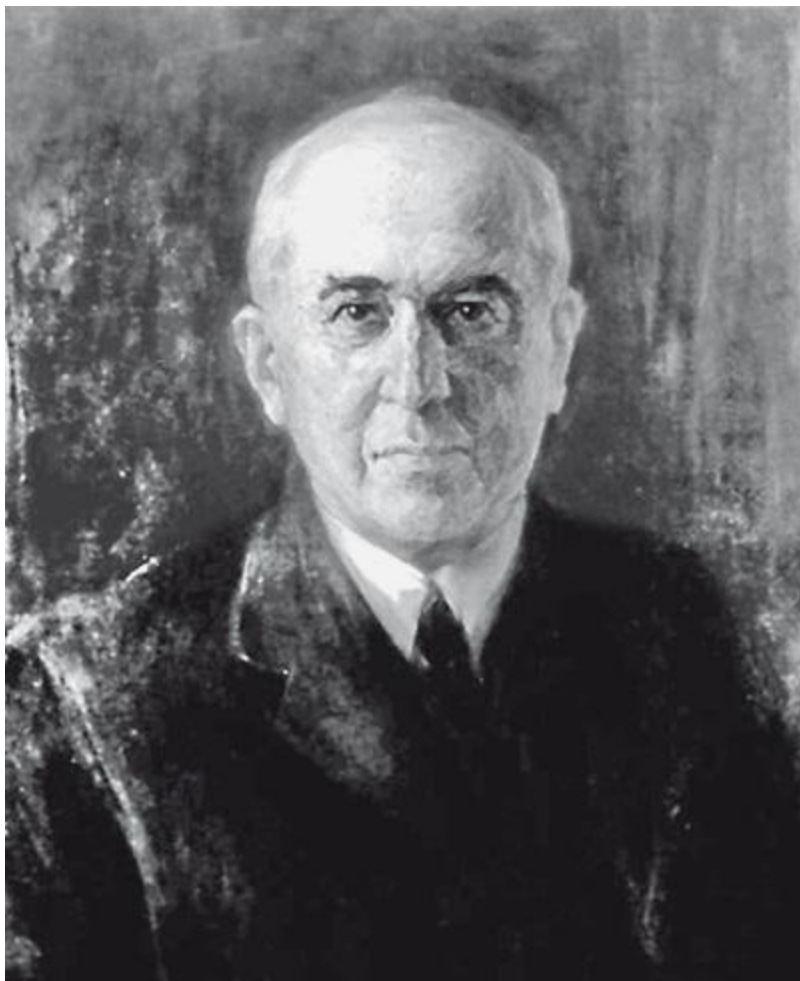
Вскоре Кролл прочел статью одного блестящего французского ученого, которая навела его на мысль. Регулярное изменение земной орбиты могло изменять количество поступающего на Землю тепла. Земля вращается вокруг Солнца, и от оси ее наклона зависит смена времен года. На орбиту Земли также влияет расположение других крупных небесных объектов, таких как Марс, Юпитер, Венера и Сатурн, которые вращаются вокруг Солнца. Когда они приближаются к Земле, изменяется орбита и наклон оси нашей планеты. За период в несколько тысячелетий орбита Земли изменяется, влияя на количество солнечного света, обогревающего планету. Кролл решил, что ледниковые периоды происходят периодически в те моменты, когда из-за изменения своей орбиты Земля получает меньше тепла от Солнца.

Так была выдвинута предсказательная гипотеза: ледниковые периоды наступают через

определенные интервалы, зависящие от изменения орбиты планеты. К сожалению для Кролла, его гипотеза не получила развития. У него не было никакой возможности соотнести время наступления ледниковых периодов с изменением земной орбиты, и его гипотеза осталась лишь гипотезой.

Спустя несколько десятилетий после смерти Кролла молодой сербский инженер решил применить свои блестящие математические способности, которые очень помогали ему в строительстве, к устройству Вселенной. Свою цель он сформулировал в виде тоста, который произнес, попивая с другом-поэтом вино в белградском кафе. Когда поэт поднял бокал и заявил: “Я хочу описать наше общество, нашу страну и нашу душу”, инженер ответил: “Я хочу большего. Я хочу понять всю Вселенную и осветить ее самые отдаленные уголки”.

Вскоре после этого гордого заявления Милутин Миланкович сменил работу. Он оставил свою строительную фирму и начал преподавать в Белградском университете. Скромностью он не отличался и объявил во всеуслышание, что объяснит все загадки планеты исключительно с помощью математики. Его ближайшая задача заключалась в расчете глобального климата.



Милутин Миланкович

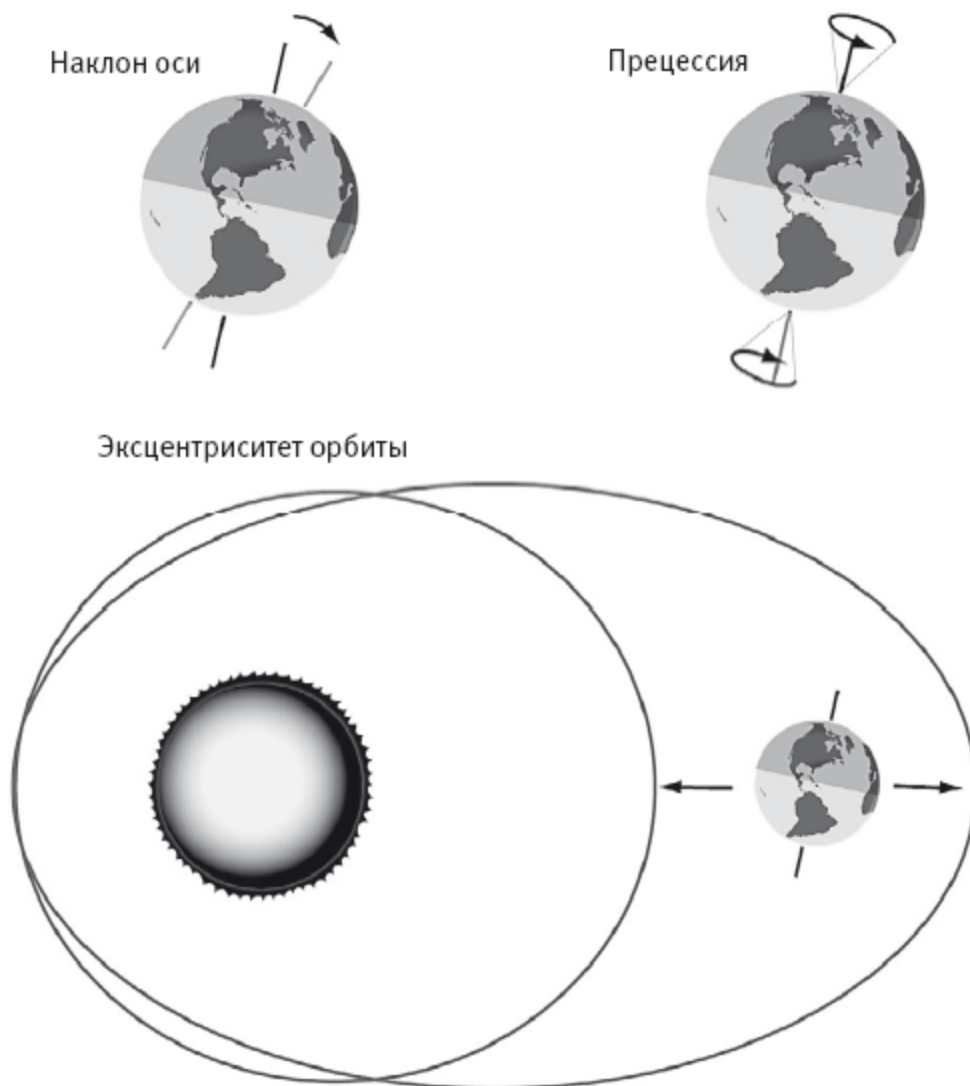
И не только климата Земли: он хотел создать математическую теорию, описывающую климат во всех точках на поверхности Земли и других планет Солнечной системы.

Такое заявление удивило некоторых его коллег: зачем рассчитывать температуру на Земле, если ее можно просто измерить с помощью метеорологических станций?



Миланкович отвечал, что если с помощью карандаша, бумаги и математики ему удастся предсказать температуру, то станут полностью понятны причины, вызывающие ее изменение. И занялся изучением планетарных ритмов, так привлекавших Кролла.

Логично было начать с результатов Кролла. Но Миланкович добавил к ним принципиально новые идеи. Используя расчетные значения для орбит, аналогичные тем, что использовал Кролл, Миланкович попытался выяснить, как солнечный свет может изменять температуру на планете. Чтобы найти эту связь, он смоделировал несколько путей переноса тепла из океанов в атмосферу и обратно. Блестящий математик смог рассчитать амплитуду температурных изменений в разное время года и сделал удивительно точные предсказания.



Циклы Миланковича складываются из изменений наклона оси Земли, ее колебаний и формы орбиты при вращении вокруг Солнца.

Характер вращения Земли меняется тремя основными способами. За сто тысяч лет орбита превращается из овальной почти в круговую. За сорок одну тысячу лет наклон земной оси изменяется на два градуса (туда и обратно). Наконец, за девятнадцать тысяч лет совершается цикл прецессии Земли (направление земной оси описывает круг, как у вращающегося волчка).

Миланкович понял, что это не очень большие изменения, которые не могут серьезно

повлиять на количество получаемого Землей тепла. Что может меняться (как прекрасно продемонстрировали его уравнения), так это длительность и выраженность времен года. Причина проста: если смена сезонов определяется наклоном земной оси и вращением Земли вокруг Солнца, то изменение формы орбиты и ориентации планеты влияет на тепло лета, холод зимы и то, что происходит меж ду ними.

Камни рассказали о существовании ледниковых периодов. Математические расчеты показали, что климат на Земле может меняться циклически, в зависимости от изменения ее орбиты. Но связаны ли между собой ледниковые периоды и изменение орбиты Земли? На этот вопрос наука ответила на новом этапе своего развития.

## **В поиске доказательств**

В работе над “Манхэттенским проектом” уникальным образом соединились усилия ученых нескольких стран. После Второй мировой войны правительство США столкнулось с проблемой из разряда тех, которые решать приятно. От Нью-Мексико до Нью-Йорка действовало несколько чрезвычайно сильных научных групп, не имевших общей инфраструктуры. Более того, теперь у них больше не было общей цели (вроде создания атомной бомбы), зато имелось много разных. Не желая упускать таланты и желая сохранить высочайший уровень развития физики в стране, американское правительство поддержало организацию нескольких новых лабораторий, включая лабораторию в Чикагском университете. Там работала группа ученых под руководством Энрико Ферми, осуществивших первую управляемую цепную ядерную реакцию (сейчас на месте, где находился первый ядерный реактор, установлена скульптура Генри Мура “Ядерная энергия”). После войны правительство помогло университету организовать несколько институтов для изучения важнейших химических и физических проблем. Одна из таких проблем – история нашей планеты.

Уиллард Франк Либби и Гарольд Клейтон Юри – двое из тех, кто воспользовался переходом от военных исследований к мирной науке в Чикаго – разделяли одну страсть и одну веру. Они стремились к знаниям. А верили они в то, что ключ к разгадке истории планеты (и даже Солнечной системы) можно отыскать в строении отдельных атомов: в электронах, протонах и нейтронах.

Изучение структуры атома привело к созданию новых инструментов, позволяющих определять концентрацию частиц с точностью до нескольких частей на миллиард. При таком разрешении можно было попытаться получить новые ответы на старые вопросы.

Либби заплатил двум молодым ученым пять тысяч долларов и предложил им заняться изучением форм углерода. Подобно большинству атомов, углерод встречается в природе в виде нескольких разных изотопов. Все атомы углерода имеют в ядре одинаковое число протонов. Разница в том, сколько в ядре нейтронов. Либби догадался, что все живые существа должны иметь такую же долю атомов углерода-14, как и в атмосфере. Живые существа дышат, едят и пьют, захватывая при этом атомы углерода, и поэтому в их организмах должен соблюдаться такой же баланс изотопов углерода, как и в воздухе. Когда организм умирает, равновесие с атмосферой нарушается: новые атомы углерода больше не поступают в организм, а те, что остались, начинают превращаться в другие формы.

Как и в случае других атомов, эта реакция происходит с постоянной скоростью,



определенной физико-химическими законами. Зная это, Либби предположил, что измерение содержания углерода-14 в древних костях позволит определить приблизительное время смерти животного. Это было серьезным прорывом: как будто в древних костях, зубах, раковинах или древесине были обнаружены идущие часы.

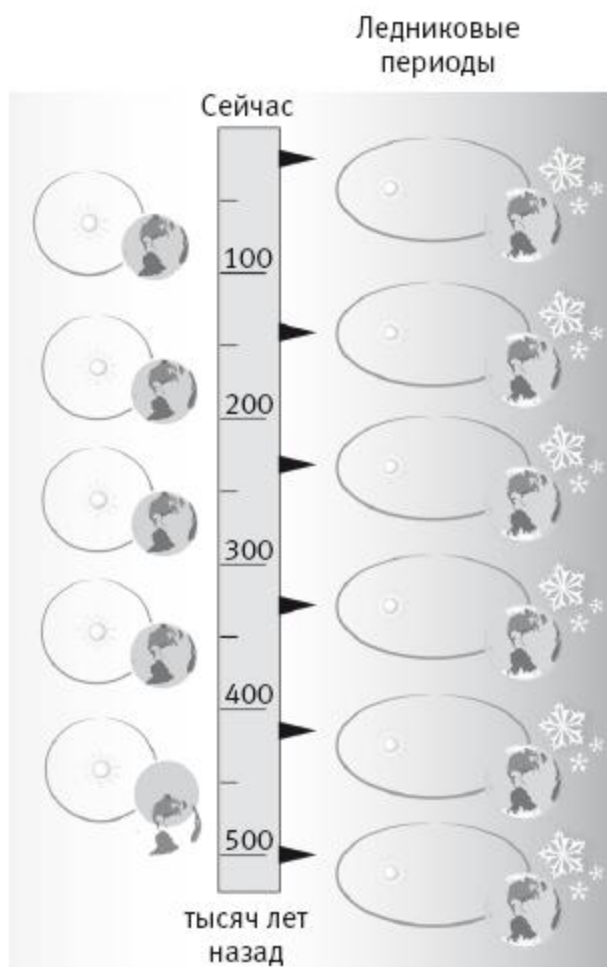
Гарольд Юри из соседней лаборатории считал, что атомы могут явиться ключом к пониманию истории планеты, Солнечной системы и всей Вселенной. Одним из главных объектов восхищения Юри был кислород. Этот крошечный атом, являющийся очень важным элементом воздуха, воды и костей, имеет несколько свойств, которые открывают окно в прошлое и в бесконечный мир вокруг нас.

Юри знал, что кислород, как и углерод, встречается в виде более тяжелых изотопов с большим содержанием нейтронов и в виде легких изотопов, в которых нейтронов меньше. Исключительно из теоретических соображений он предположил, что соотношение этих форм в любом веществе зависит от температуры. Идея эта родилась вовремя, поскольку уже существовали инструменты, позволявшие проверить ее экспериментальным путем.

И все получилось: соотношение тяжелых и легких изотопов кислорода в веществе действительно зависит от температуры. Для Юри и его группы этот успех означал, что путем измерения содержания разных форм кислорода в веществе (например, в воде или костях) можно определить температуру среды в процессе образования этого вещества. Проблема заключалась лишь в том, чтобы найти в геологической летописи правильные данные, с точностью указывающие на климатическое состояние Земли в разные эпохи. Только тогда инструменты, предложенные Либби, Юри и их коллегами, смогли бы свести причину со следствием.

Морские раковины прочны и очень долго сохраняются, поскольку в их составе имеется кристаллическое вещество карбонат кальция. Это соединение, столь важное для обеспечения твердости раковин, содержит кислород. Юри и другие ученые понимали, что раковины морских животных формируются из атомов и молекул, находящихся в морской воде во время жизни животного. Таким образом, относительное содержание различных форм кислорода в раковинах может отражать температуру воды в то время, когда жили их обитатели. Поскольку раковины очень хорошо сохраняются, они могут содержать подробную летопись событий далекого прошлого.

Воспользовавшись изотопами кислорода как термометром, а изотопами углерода в качестве хронометра, а также руководствуясь регулярным расположением геологических слоев, ученые принялись изучать климатические изменения во время ледниковых периодов.



Стотысячелетний цикл изменений формы земной орбиты: ледниковые периоды обычно наступают при эксцентрическом положении Земли.

Одна группа исследователей проследила за изменениями температуры по весьма представительному собранию раковин. Морское дно – идеальная среда: здесь слой за слоем оседают из толщи воды частицы вещества. Анализируя состав кислорода в раковинах внутри слоев, ученые смогли в общих чертах описать изменения климата. Оказалось, что температура на планете то повышалась, то понижалась: пики высоких температур чередовались с долинами низких. Но эти изменения не были хаотическими. Если внимательно изучить графики, можно обнаружить, что пики и провалы повторяются каждые сто тысяч лет. Именно это число прежде называл Милутин Миланкович. В результатах работ других групп также стало появляться число 100 000. Может быть, события на Земле и в самом деле зависят от космических процессов?

Проблема заключалась в запутанности данных. На графиках зависимости температуры от времени было множество пиков, а не только те, что повторялись с периодичностью сто тысяч лет. Тогда один английский и два американских ученых решили применить метод анализа, разработанный одним из советников Наполеона в Египте. Этот чиновник от скуки решил заняться изучением теплоты и законов ее передачи между различными материалами. Эта работа чрезвычайно помогла ученым спустя сто лет. Однако помог им не анализ свойств теплоты, а математический метод, разработанный наполеоновским чиновником. Если у вас есть некий очень сложный график, то, возможно, эта сложность является результатом наложения нескольких независимых колебательных процессов.

Математический метод, известный теперь (по имени автора) как преобразование Фурье, позволяет разделить сложную зависимость на несколько регулярных и более простых.

Благодаря этому несложному аналитическому аппарату набор данных перестал выглядеть хаотично, а приобрел глубокий смысл. Это было наложение ритмических процессов с цикличностью в сто тысяч, сорок тысяч и девятнадцать тысяч лет.

Миланкович и Кролл оказались правы: ледниковые периоды во многом связаны с орбитой, углом наклона оси и вращением Земли.

Графики изменений климата с пиками и провалами, отражающими подъемы и падения температуры за миллионы лет, напоминают электрокардиограмму человека. Сердце Земли стучит уже много лет, соответствуя ритму изменения земной орбиты, а также действию воды и воздуха. До глобального похолодания сорок пять миллионов лет назад, которое так заинтересовало многих ученых, включая Морин Раймо, эти изменения орбиты редко приводили к ледниковым периодам. Но позднее колебания орбиты стали вызывать наступление и отступление полярных льдов. И эти полярные льды преподнесли сюрпризы.

В 1964 году, на пике активности в Кэмп-Сенчури, датский геолог Вилли Дансгор посетил Туле (самую крупную авиационную базу региона, снабжавшую лагерь), чтобы изучить местный снег. До этого Дансгор провел некоторое время в Чикаго и даже поработал в лаборатории Юри. Тамошные студенты запомнили его тягу к холоду: долгими чикагскими зимами он оставлял окна открытыми.

Прибыв на базу, он услышал о военном городке в сотне километров к востоку. Он попросил разрешения посетить Кэмп-Сенчури, но ему отказали ввиду чрезвычайной секретности операции. И все же в качестве руководителя лаборатории армии США по изучению холодных регионов ему удалось получить доступ к глыбам древнего льда, которые вынимали, чтобы освободить пространство для города. Может быть, именно в этом льде найдутся ответы на вопросы об изменениях земного климата?

Всю жизнь Дансгор мечтал увидеть большой непо потревоженный столб льда, и теперь у него перед глазами лежали самые полные из когда-либо виденных им ледяных колонн. Дансгор сразу же отметил две особенности. Во-первых, лед переливался разными цветами, от зеленого до голубого. Во-вторых, колонны льда состояли из толстых, тонких и средних слоев. Практически все компоненты воды и воздуха попадают в лед. В лед вмораживают частицы всех размеров и видов – не только семена, растения, зола, но и обломки самолетов времен Второй мировой. Атмосферный воздух остается во льду в виде пузырьков. А сами слои льда могут отражать смену времен года. Арктическая зима темная и холодная, а лето яркое и сравнительно теплое. Солнце топит лед, вода приносит с собой осадки, поэтому летние слои льда темнее и грязнее зимних. Одни слои могут быть темнее других из-за принесенной ветром пыли. Лед захватывает много всего и является очень ценным источником информации об изменениях климата.

Дансгор применил к ледяным глыбам Гренландии метод Гарольда Юри. Поскольку объектом исследования были не раковины, а лед, методика требовала некоторой коррекции, но Дансгору удалось понять заключенную во льде информацию об изменениях климата. Дансгор измерил содержание кислорода вдоль столба льда с глубины более восьмисот метров – примерно сто тысяч лет истории. Он обнаружил заметное похолодание семнадцать тысяч лет назад – это был ледниковый период, впервые

замеченный Агассисом. Кроме того, он увидел потепление около полутысячи лет назад. А еще он обратил внимание на холодный период, продолжавшийся с 1700 по 1850 год, когда в большей части Европы установились холода, а Ханс Бринкер [5 - Герой романа Мэри Элизабет Мейпс Додж “Серебряные коньки”.] катался на коньках по каналам Амстердама.

Исследование Дансгора не позволило получить более подробную информацию, поскольку лед, который он изучал, был извлечен для размещения ракет и строительства церквей. Лед для научных исследований нужно извлекать, разделять и хранить так, чтобы сохранялись длинные неповрежденные участки. Таким образом, для более полной картины нужны были новые керны. И если обнаруженные Дансгором закономерности были справедливы, их следовало проверить на льде из других мест – с обоих полюсов и с горных вершин на различных континентах.

Для получения “правильных” кернов требуется согласованная работа инженеров и ученых, а также поддержка правительств тех стран, на территории которых располагаются ледники. А это недешево: нужно наладить оборудование и поселить людей в самых отдаленных уголках Земли. Начиная с 70-х годов, было извлечено несколько кернов льда, самые полные из которых получены в Гренландии, Антарктиде и нескольких крупных горных ледниках в разных точках мира.

Подробный анализ льда и климата преподнес сюрпризы. Климат на Земле в последние сто тысяч лет менялся чаще, чем думали до сих пор. Ледниковые периоды не были просто затяжными холодами: они прерывались потеплениями. А в теплые периоды случались похолодания. Это свидетельствует о том, что климат на Земле зависит от теплового баланса планеты – от количества солнечного тепла, попадающего на Землю, количества отдаваемого Землей тепла, а также от перераспределения тепла между океанами, сушей, воздухом и льдом. Как в музыке: музыкальную композицию можно воспринимать как нечто единое, но можно и разложить на ритмы и мелодии, исполняемые инструментами в соответствии с их собственными партиями. Основную роль в формировании климата играют изменения орбиты, обнаруженные Миланковичем. Другие факторы – перемещение тепла океаническими течениями, ветрами и льдом. В результате образуется система с долгосрочным общим ритмом и короткими ритмическими фигурами.

Примером такой ритмической фигуры может служить изменение климата в конце последнего ледникового периода (около двенадцати с половиной тысяч лет назад). Все факторы в то время располагали к теплой погоде, и вдруг за какие-то десятилетия резко похолодало. Как показывает анализ пыльцы, содержания кислорода и других параметров, во всем мире температура понизилась в среднем на пятнадцать градусов всего за десятилетие. Если долгосрочные графики изменения климата сравнивать с электрокардиограммой, такой скачок должен быть приравнен к всепланетному сердечному приступу. Если повышение или понижение температуры всего на два-три градуса приводит к изменению береговой линии и соотношения пахотных земель и пустынь, то какими же могут быть результаты скачка температуры на целых пятнадцать градусов!

## **Семена перемен**

Земная орбита, климат и лед во все времена определяли расселение живых организмов по планете. Глобальные изменения климата разделяли популяции на группы, между

которыми пролегали ледяные пустыни, или же открывали новые возможности для миграции, позволяя достичь прежде недоступных уголков. Анализ ДНК американских индейцев говорит о том, что все они являются потомками одного мужчины, который пересек Берингов пролив по льду, образовавшемуся во время последнего ледникового периода. На генеалогическом древе европейцев лед тоже оставил свои следы. ДНК многих европейцев происходит от популяций, прежде населявших территорию современной Украины, а после ухода льдов во время последнего ледникового периода расселившихся по другим местам. Следы этих событий сохранились в ДНК разных человеческих популяций.

Однако некоторые популяции не изменялись, а исчезали. Конец последнего ледникового периода для млекопитающих Северной Америки оказался вдвойне тяжелым. Им не только пришлось жить в неблагоприятных климатических условиях. У них появился новый конкурент и враг – человек. Изменение климата и приход людей из Азии положили конец существованию американских саблезубых тигров, мамонтов и гигантских ленивцев. Кроме того, образ жизни некоторых видов совершенно изменился.

Коллеги в Кембридже называли Дороти Гэррод “чудовищно робкой” и “непонятной”. Мне, однако, кажется, что эту женщину трудно назвать робкой. Вот выдержки из ее письма 1921 года, адресованного двоюродному брату: “Дорогой мой Джин! Последняя неделя во Франции была замечательной. Все было настолько волнующим, что не похоже на правду. Я часами ползала на животе... над зияющей бездной (освещенной лишь ацетиленовой лампой...) и стучалась головой о сталактиты, а ногами о сталагмиты, но в конце концов нашла множество всяких чудес”. Эта женщина изучала седую древность, попадала в переделки и получала от всего этого огромное удовольствие. “Робкая” Дороти Гэррод, обнаружившая в пещерах кости неандертальцев и неизвестные прежде места человеческих поселений в разных точках планеты, стала первой женщиной, получившей должность профессора и в Оксфорде, и в Кембридже.

Во время раскопок в пещере Шукбана и в других местах в окрестностях Иерусалима Гэррод обнаружила необычные каменные орудия в форме полумесяца. До тех пор ничего подобного археологам видеть не приходилось. Затем она отыскала несколько ступок, пестиков, зернотерок, фигурок различных существ. Жившие здесь когда-то люди мололи пшеницу и отправляли религиозные обряды.



Дороти Гэррод (справа) в экспедиции.

Продолжение раскопок привело к новым находкам: тщательно захороненные скелеты собак, остатки жилищ, человеческие захоронения с замысловатыми украшениями и даже сложные каменные скульптуры. У этих людей, которых Гэррод назвала натуфийцами, были первые одомашненные собаки, первые скульптуры людей, занимающихся сексом, и причудливые погребальные обряды. В группах было по несколько сотен человек, составлявших достаточно сложное сообщество, со временем менявшееся. Прежде человеческие популяции вели кочевой образ жизни, перемещаясь с места на место при изменении климата и недостатке пищи. Натуфийцы избрали иную стратегию. За несколько тысяч лет (от пятнадцати до одиннадцати тысяч лет назад) они перешли от обустройства передвижных лагерей к строительству практически постоянных жилищ.

Ни одна популяция не защищена от происходящих на планете изменений, особенно таких, как резкое изменение климата, запечатленное в полярных льдах. Натуфийцы пережили этот период резких климатических изменений (около тринадцати тысяч лет назад): на высоких широтах господствовали ледники, а на низких установился холодный и сухой климат. Скорее всего, в таких условиях обычной пищи – дикорастущих злаков – людям перестало хватать. Безусловно, натуфийцы и их современники сильно пострадали от этих глобальных перемен. Но как им и сменившим их культурам удалось выжить?

При раскопках поселений натуфийцев около одиннадцати тысяч лет были найдены



спелые зерна, характерные для одомашненных растений. Но если в поселениях натуфийцев плодовые косточки и зерна находят редко, то в более поздних поселениях они встречаются регулярно. Находки таких семян указывают на земледельческий образ жизни, а ступки и пестики свидетельствуют о том, что люди употребляли зерно в пищу. Человек теперь не зависел от миграции животных. С развитием земледелия и возникновением постоянных поселений, как у представителей натуфийской культуры, начали складываться институты и культура, характерные для более развитого общества.

Дороти Гэррод искала в земле следы древних цивилизаций. А мой коллега из Чикаго Джонатан К. Притчард изучает ДНК, пытаясь отыскать закономерности в ее структуре и последовательности. Сравнивая ДНК современных людей, он может рассказать, являются ли различия между нами игрой случая или результатом естественного отбора. Если какой-либо ген обеспечивает хозяину преимущество в выживании и воспроизводстве, он должен оставить в ДНК определенный след. Джонатан умеет выделять такие сигналы с помощью разработанных им статистических методов. При прочих равных условиях, если ген находился под влиянием естественного отбора, то он должен чаще встречаться в человеческой популяции и отличаться меньшей вариабельностью, чем при случайной (нейтральной) эволюции.

Джонатан нашел в человеческой ДНК последовательности, несущие на себе следы естественного отбора. Это гены, которые тем или иным образом повлияли на выживание и воспроизводство наших далеких предков. Эти гены для биологов сродни Святому Граалю: они могут рассказать, какие признаки являются существенными для вида. Некоторые из этих генов связаны с пигментацией кожи. При расселении людей по планете некоторым популяциям пришлось переселяться в регионы с другим уровнем освещенности, и это перемещение сопровождалось изменением генов пигментации. В результате люди с более светлой кожей живут дальше от экватора, чем люди с более темной кожей.

Другие гены отражают изменение нашего рациона. В некоторых популяциях люди обзавелись генами, способствующими усваиванию молока, углеводов и спирта. Эта способность связана с наличием в организме ферментов, расщепляющих определенные химические связи в молекулах. В последние десять тысяч лет эти гены стали особенно важны. Способность переваривать молоко – следствие одомашнивания коров. Расщепление спирта связано с использованием продуктов брожения. Оба признака отражают переход людей к земледельческому, оседлому образу жизни.

Последствия вращения планеты и былых холодов можно найти повсеместно: в песчинках на берегу моря, в валунах на склонах холмов и даже в нашей собственной ДНК, которая, как и туннели Кэмп-Сенчури, остается свидетелем изменений климата и культуры.

## **Глава 10**

### **Матери изобретений**

Около восьми миллионов лет назад континенты, моря и океаны уже приобрели такие очертания, что и ученики младших классов смогли бы их узнать. Планета выглядела на современный лад, за одним исключением: на ней не было двуногих существ с крупным

мозгом.

О том, что ситуация изменилась, можно судить по палеонтологическим находкам возрастом около семи миллионов лет, обнаруженным на территории Чада и Кении. Группа французских ученых, исследовавших прибрежную часть древних озерных отложений, отыскала большой фрагмент черепа, отличавшегося удивительным смещением черт. Тяжелыми надбровными дугами и маленьким объемом черепной коробки он напоминал череп шимпанзе, но размер лица был слишком мал для обезьяны: эти черты очень напоминали человеческие. Другие свидетельства были найдены в более молодых отложениях в Кении. Были обнаружены фрагменты бедренных костей и других костей ног, и они были прямыми, что означало, что их обладатель ходил на задних ногах. Что-то произошло – на планете жили и, может быть, даже передвигались на двух ногах высшие приматы совершенно нового типа.

Эти существа, безусловно, не отдавали себе отчета в том, что Земля у них под ногами менялась. Африканский континент начинал раскалываться. Сдвиги внутри Земли привели к расщеплению земной коры, открытию рифта и разделению континента в направлении с севера к югу. Этот разрыв сначала был небольшим, но постепенно удлинялся и протянулся от Египта до Мозамбика. По мере развития процесса эти рифты (как те, что мы исследовали в Гренландии) образовали выпуклости и впадины на поверхности Земли, ставшие горами и долинами.

Почти все окаменелости, рассказывающие о нашей истории в период от шести до двух миллионов лет назад, были найдены в той или иной части этой рифтовой системы. Находки свидетельствуют, что хождение на двух ногах (бипедализм) – один из древнейших человеческих признаков, зачатки которого были уже у наших далеких предков, чьи остатки найдены в Чаде и Кении. Было обнаружено несколько видов существ с небольшими лицами, сравнительно небольшими клыками и широкими задними коренными зубами, а также крупным мозгом. Все эти человеческие признаки появлялись постепенно. Около 1,9 миллиона лет назад родичи человека существовали уже и вне Африки. Судя по строению их костей, они могли ходить и даже бегать на большие расстояния. Примерно двести тысяч лет назад на Земле появились первые представители нашего вида – *Homo sapiens*.

О климате тех лет мы узнаем благодаря анализу пыли, ила и костей. Пыль в осадочных породах говорит об уровне влажности и направлении и скорости ветра. Ил со дна моря позволяет установить направление подводных течений и количество воды из Нила, вытекавшей в море (этот параметр отражает количество дождей). Осадки на дне крупных рифтовых озер характеризуют изменения уровня воды. По присутствию или отсутствию костей антилоп можно судить о том, была ли данная территория покрыта лесом или саванной. Присутствие костей бегемотов говорит о том, что здесь было влажно. Даже длина шей ископаемых жирафов может о многом рассказать: по ней можно судить о высоте местной растительности. Если вы умеете смотреть, чуть ли не любой объект может служить термометром, барометром или даже анемометром.

Содержание пыли в африканских осадочных породах то увеличивалось, то уменьшалось. Антилопы распространились повсюду, а вот бегемоты и жирафы жили только в определенных местах. При смене теплого и влажного климата на холодный и сухой густые леса уступили место редколесьям с большим количеством травы. Но, несмотря на эту основную тенденцию в изменении климата, в отдельные короткие промежутки времени в окружающей среде происходили резкие перемены и в одну, и в

другую сторону.

Любой житель города, лежащего вблизи горного массива, знает, что горы сильно влияют на климат. Появление африканского рифта оказало дополнительное влияние на погоду: горы задерживали влагу и влияли на формирование дождевых облаков. В Африке появились регионы, где шли ливневые дожди, и регионы с более сухим, прохладным климатом.

Географические и климатические изменения в Африке связаны с глобальными переменами. От двух до трех миллионов лет назад началась череда ледниковых периодов. Расширение ледников способствовало снижению уровня моря, что, в свою очередь, привело к изменению океанических течений и воздушных потоков. Результатом было постепенное превращение Восточной Африки из страны лесов в гигантское пастбище.

Эта цепная реакция коснулась и наших древних предков. Способность передвигаться на двух ногах, появившаяся у них от семи до четырех миллионов лет назад в районах вроде Чада, Эфиопии и Кении, при жизни в открытых саваннах оказалась особенно важной: они смогли преодолевать большие расстояния, а их руки освободились для изготовления орудий.

Характерные для того времени быстрые климатические сдвиги, вызванные изменением орбиты планеты и другими, пока неизвестными причинами, требовали от животных быстрой адаптации. Отличительной особенностью существ с крупным мозгом как раз является способность к обучению и адаптации. В этом вихре (по геологической временной шкале) перемен реализовались такие функции, как изготовление все новых типов каменных орудий, сбор моллюсков, охота, наскальная живопись, захоронение умерших, использование огня, приготовление пищи и натуфийское земледельческое общество.

## **Связь найдена**

В начале 80-х годов моего коллегу из отделения статистики Чикагского университета Стивена Стиглера попросили принять участие в подготовке сборника, посвященного памяти Роберта Мертона, одного из выдающихся социологов нашего времени. За время своей долгой научной деятельности Мертон значительно изменил наше понимание того, как рождаются великие идеи и делаются открытия. В 1957 году Мертон обратил внимание научного сообщества на странную закономерность: очень часто идеи, которые в нашем представлении ассоциируются с каким-то одним человеком, на самом деле выдвинуты кем-то другим. Более того, великие прорывы и открытия в науке часто совершаются одновременно несколькими людьми, работающими в разных местах.

После путешествия на “Бигле” Чарльз Дарвин изложил принципы естественного отбора в виде огромного труда. Когда труд был почти завершен, он узнал, что Альфред Рассел Уоллес самостоятельно пришел к той же идее, когда за несколько лет до того болел малярией в Индонезии. Люди тысячелетиями размышляли о связи человека с животными, и вот практически одновременно двое ученых совершенно независимо друг от друга открыли фундаментальные принципы, лежащие в основе всего живого. Готфрид Лейбниц и Исаак Ньютон практически одновременно создали систему интегрального и дифференциального исчисления. Элайша Грей и Александр Грэм Белл в одном и том же году изобрели телефон. Список можно продолжать. Многие великие идеи приходили к

разным людям практически одновременно.

Очень многие молодые ученые постоянно опасаются подобной ситуации. Что чувствует каждый из них, когда обнаруживает нечто действительно стоящее? Это не всегда ощущение победы. Впереди карьера. Их должны признать другие ученые. Поэтому их главная мысль в такой ситуации: “А кто еще мог это обнаружить?”

Зная множество подобных примеров, Стиглер сформулировал закон. Говоря кратко, он объявил, что, называя какое-то открытие или закон именем некоего человека (закон Гука, физика Ньютона, теория Дарвина), люди должны помнить о том, что “ни одно научное открытие не названо именем его первооткрывателя”. Стив Стиглер назвал свой закон законом Стиглера, чтобы отдать дань его первооткрывателю Мертону и его последователям, выросшим на работах истинного первооткрывателя, отца социологической науки Фрэнсиса Бэкона. Само признание многократности открытий тоже приходило к людям неоднократно.

Богатая история открытий – не линейный путь от одного человека к следующему, а продукт социальной среды с бесчисленными предшествовавшими эпизодами и, в результате, многими “авторами”. Часто сам изобретатель или первооткрыватель играет менее важную роль, чем среда, которая подготовила открытие, чем то, что, так сказать, “витают в воздухе”. Чтобы открытие совершилось, необходимы определенные условия и возможности его развития и внедрения. Понимая важность исторического момента, Бэкон в XVI веке произнес знаменитое: “Время есть величайший из новаторов”.

Наши тела и гены состоят из наслоений биологических изобретений, накопившихся за миллиарды лет. Поэтому и в биологическом мире, как и в мире технологий, присутствует множественность. Например, способность дышать воздухом возникла у рыб несколько раз, как и плавники, позволяющие рыбам передвигаться по дну и по суше. Легкие и эквивалентные им органы есть у многих пресноводных видов: некоторые дышат с помощью дыхательного мешка, другие обзавелись дополнительной сетью сосудов в других частях тела. Некоторые рыбы, такие как жабовидные рыбы, илистые прыгуны и эполетовые акулы, умеют ходить. Некоторые рыбы даже лазают по деревьям. Но множественность проявляется не только у рыб. Абсолютно все виды живых существ, включая нас, в той или иной форме подтверждают это наблюдение. Закон Стиглера применим к органам не в меньшей степени, чем к теоремам и приборам.

Изменения нашего тела происходили не в вакууме, и в этом процессе лучшим изобретателем тоже оказалось время. Человек не мог появиться в девонский период 375 миллионов лет назад, как не мог “айпэд” быть изобретен в XVIII столетии. Чтобы ноги, ступни или кремниевые микросхемы появились в современном виде, необходимо было множество их предшественников.

В случае биологических изобретений “в воздухе витает” состояние самого воздуха и его взаимосвязь с камнями, водой и разнообразными формами жизни. Способность передвигаться на двух ногах, которая сыграла столь важную роль в развитии нашего вида, смогла развиться лишь благодаря изменениям, произошедшим у рыб, червей и других организмов. Плавники превратились в ноги тогда, когда животные перешли от жизни в воде к жизни на суше. Заглянем на 380 миллионов лет назад, когда средоточием жизни были реки и океаны. Здесь плавали большие и малые рыбы. Рыбы поедали рыб. Крупные хищные рыбы свыше четырех метров длиной плавали рядом с более мелкими, зато бронированными, созданиями. Да и суша в это время уже не была необитаемой. Сначала здесь расселились растения и разнообразные беспозвоночные животные. Здесь были леса

и кишачие всевозможными существами заросли кустарников. Первая рыба, вышедшая на сушу, попала в уже обитаемую среду, где было вдоволь еды и совсем не было хищников. У этих древних рыб были причины перебраться на сушу. И любые изобретения, позволявшие им укрыться от обитавших в воде крупных хищников и воспользоваться прелестями жизни на суше, были явным преимуществом.

Растения помогли нашим древнейшим предкам выбраться на сушу. Корневая система растений способствует образованию почвы, а следовательно, и прочных берегов водоемов, в которых обитали рыбы. Появление наземных растений, осуществляющих фотосинтез, привело к повышению уровня кислорода в атмосфере. История ног человека восходит не только к плавникам рыб, но и к деревьям, кустам и цветам.

Но рыбы, ноги и растения – фрагменты лишь одной истории о развитии нашего тела. Происхождение любой ткани, клетки или гена есть продукт взаимодействия планеты и живущих на ней существ. Если бы не было водорослей и континентального дрейфа, не существовало бы клеточного механизма для формирования не только ног, но и всех других частей нашего тела. Эти процессы начались миллиарды лет назад: и нарушение баланса между веществом и антивеществом после Большого взрыва, и влияние Солнечной системы на движение земной коры – все это сыграло свою роль в том, что мы с вами явились на свет. Нашими предшественниками была не только длинная череда животных предков, но и многие планетарные и космические события, с которыми мы и наша история связаны с самого начала.

Американский философ Уильям Джемс часто повторял, что религиозный опыт возникает из ощущения себя во Вселенной как дома. С телами, состоящими из частиц, возникших при зарождении небесных тел, и органами, созданными совместными усилиями планет, гор и океанов, нам трудно не чувствовать себя дома повсюду.

## **Прошлое как пролог**

Наша команда проследила путь древних рифтовых долин, протянувшихся от восточного побережья Гренландии до подножия Атласских гор в Марокко. Горы северо-запада Африки сложены из эродированного песчаника и сланца, как и те, что мы видели в Арктике: замените белых медведей на коз, а ледники на маленькие деревни – и вы окажетесь в знакомой обстановке. Таков был план исследований: наш успех в Гренландии позволил нам выбрать новые места для поиска древних млекопитающих и их мелких окаменевших зубов.

Когда мы с Фаришем спустились в многообещающую долину из пыльного красного песчаника, наше внимание привлек ослиный крик: где-то поблизости были местные крестьяне. Обычно мы встречались с пастухами или маленькими детьми. Их любопытство и врожденная способность смеяться без видимой причины оживляли многие неудачные дни поисков окаменелостей.

Однако приближающийся звук сменился видом двух стариков, чьи светящиеся глаза и широкие улыбки никак не соответствовали согнутым старческим фигурам. Ослики были меньше седоков, а у седоков были беззубые улыбки, сморщенные от солнца лица и скрюченные от долгой и тяжелой работы ладони и ступни.

Эти люди хотели нам что-то сообщить, и мы, не владевшие языком берберов, попытались объяснить с ними на обычном в таких случаях языке жестов и гримас. Было ясно, что у них имелась для нас какая-то важная информация, но мы, хоть плачь, не могли

понять ровным счетом ничего. В конце концов в полном отчаянии один из мужчин достал из складок одежды и передал мне пожелтевший, истертый лист бумаги. Это оказалось удостоверение личности, выданное ему двадцать лет назад, когда он работал с французскими палеонтологами. Теперь ему хотелось поведать нам об этом. Фариш изучил потертую бумагу и в изумлении покачал головой: “Да эти люди младше меня!” Фариш, подтянутый пятидесятилетний мужчина, выглядел лет на сорок младше наших новых знакомых.

События на планете оставили след на лицах, суставах и телах этих берберов. Культура, технология и экономика опосредуют и направляют наши взаимоотношения с Землей. Чтобы понять это, не нужно ехать в Марокко: достаточно проехать пару кварталов в Манхэттене или Чикаго, и вы увидите невероятные различия в продолжительности жизни, грамотности, детской смертности, распространенности диабета, ожирения, сердечно-сосудистых заболеваний и различных видов рака.

В прошлом разнообразие условий на планете определяло наиболее важные различия между нашими предками – будь то рыбы, пресмыкающиеся или люди. Но потом равновесие сдвинулось, и корни этого изменения можно обнаружить в африканских отложениях возрастом около трех миллионов лет.

Первые каменные орудия были изобретены для того, чтобы разделять туши. С тех пор мы придумали инструменты для выполнения миллионов разных функций – от производства продуктов питания до подводного плавания. Обмен информацией между людьми тоже постоянно приобретает новые формы: сначала алфавит, потом телефон, теперь цифровые технологии. Наша история – история изобретений, медицины и техники, позволяющих нам воплотить в реальность наши идеи и расширить физические возможности.

Эти идеи и технологии открывают перед нами новые способы защиты от переменчивых условий планеты. Уже во времена натуфийцев сообщества земледельцев отчасти избавились от зависимости от миграции животных. Одежда защищает нас от перемен погоды. Приборы и инструменты помогают выйти далеко за пределы наших физических возможностей. Мы даже создали машины, позволяющие выходить из гравитационного поля планеты и воспринимать сигналы от других небесных тел.

Созидательная активность человека и его физиологические возможности – разные группы инструментов в оркестре: у каждой своя партия, но вместе они создают единое произведение. Переход от сыроедения к потреблению приготовленной пищи запечатлен в строении нашего пищеварительного аппарата и в генах. Появление земледелия отражено в структуре ДНК. Наши технологические и культурные достижения влияют на нашу биологическую природу. Но все эти культурные изменения были, в первую очередь, обусловлены нашими физическими возможностями: крупным мозгом, ловкими руками, органами речи. Биология и культура – инь и ян человеческого существования.

Не нарушаем ли мы сейчас то равновесие, которое было частью нас с самого начала нашей жизни в саваннах, лесах и пещерах? Что бы мы обнаружили, если бы перенеслись во времени на тысячу или миллион лет назад: какие факторы определяли тогда быстроту бега, продолжительность жизни и познавательные способности человека?

Некоторое представление об этом можно получить из бейсбольной статистики. Мы достигли такого уровня развития во всех отношениях, что при оценке физических возможностей человека, например, способности выбить хоумран, следует разделять тех, кто использует современные технические достижения, и тех, кто их не использует.



Медикаменты могут настолько сильно изменять физические и умственные способности человека, что, вполне возможно, вскоре соответствующую классификацию придется применять и при вручении Нобелевских премий. С момента возникновения человеческой цивилизации прошло около одиннадцати тысячелетий. Можете себе представить, на что будут способны люди еще через одиннадцать тысяч лет, если учесть постоянно возрастающую скорость изменений в нашей жизни.

Анализируя влияние технологии на нашу жизнь, можно задать вопрос: а что если дарвиновская эволюция больше не определяет порядок вещей? Не привели ли миллионы лет человеческой эволюции к отчуждению человека от планеты и от самого процесса эволюции?

Биологи используют множество методов, чтобы переводить идеи Дарвина и его последователей в математическую форму. И это не пустая затея: числа и уравнения позволяют нам сделать то, что хорошо умеет делать наука, а именно: формулировать предсказания. Одних только фраз типа “выживает наиболее приспособленный” недостаточно. Для предсказания эволюционных изменений нужны количественные данные, отражающие признаки вида, их передачу из поколения в поколение, а также их влияние на успешность развития живых существ в их среде обитания. При описании эволюционного процесса эти данные, особенно “успешность”, необходимо определить как можно точнее. Так, под успешностью подразумевается численность жизнеспособного потомства данного существа за всю его жизнь в конкретных условиях среды. Если в каком-то месте красные птицы оставляют больше жизнеспособного потомства, чем зеленые, и окраска птиц сильно зависит от генов (является наследственным), то при прочих равных условиях под действием естественного отбора с течением времени красных птиц будет становиться больше. Естественный отбор не прекращается никогда, и если выполняются определенные условия, его результат неизбежен и предсказуем.

Применить такой подход к анализу эволюции современных людей трудно, потому что необходимые количественные показатели не всегда удается определить с достаточной точностью. В идеале следовало бы провести исследование на очень большой выборке людей, позволяющей проследить историю целых семей и передачу в них наследственных признаков. Самые полные базы данных, отражающие различные признаки, удается составить в ходе проведения широких клинических исследований, направленных на изучение состояния здоровья населения за длительные промежутки времени. Например, в знаменитом исследовании распространения сердечно-сосудистых заболеваний в городе Фремингэм, Массачусетс, которое началось в 1948 году и продолжается до сих пор, было опрошено около четырнадцати тысяч человек. Учитывалось протекание родов, количество детей, множество разных признаков и причины смерти. В других исследованиях проводили анализ заболеваний сосудов, состояния репродуктивной системы и психологических факторов. Наиболее обширные базы данных существуют в странах с обязательной регистрацией актов гражданского состояния. Например, в Дании собрана информация о восьми миллионах человек и отражено множество параметров – от фертильности до семейного анамнеза.

Биолог Стивен Стирнс и его коллеги проанализировали эти данные и пришли к простому заключению. Между людьми, проживающими в разных частях планеты, существуют очень большие различия. В развитых странах, жители которых имеют доступ к медицинской помощи, нормально питаются и пользуются чудесами современной техники, основным фактором, влияющим на эволюционный процесс, является

деторождение: сколько люди хотят иметь детей, и в каком возрасте они их производят на свет. В развивающихся странах ситуация иная: на передачу генетических признаков влияет смертность, особенно детская. В одном мире успешность эволюции определяется возрастом родителей при рождении ребенка, в другом успешность прямо связана с выживаемостью. Пути эволюционного развития человеческих популяций зависят от социально-экономических, культурных и технологических факторов.

В прошлом долгосрочная успешность рода определялась возможностью наследственной передачи генов и признаков и часто зависела от внешних условий. Главным источником информации, передаваемой из поколения в поколение, была ДНК. Теперь ситуация не столь очевидна. Американский ученый Норман Борлоуг и его жена имели троих детей, пятерых внуков и шестерых правнуков. Можно взглянуть на их семейное древо и проанализировать передачу генетических признаков. А если мы перенесемся в будущее, то сможем оценить успешность передачи биологических признаков: цвета волос, способности сворачивать язык трубочкой, предрасположенности к заболеваниям, и так далее. Но в какой степени подобные признаки влияют на будущее нашего вида? Возможно, гораздо важнее другое. Борлоуг не только передал гены своим биологическим детям, но его также считают отцом “зеленой революции”. Благодаря его усилиям удалось значительно повысить урожайность кукурузы и пшеницы и устойчивость растений к заболеваниям. Он спас и улучшил жизнь миллионов людей на планете. Его идеи живут в других людях, его гений изменил планету. Успешность нашего вида, оценивается ли она по количеству жизней, спасенных благодаря прорыву в медицине и сельском хозяйстве, или по количеству судеб, измененных благодаря великим книгам, философии или музыке, зависит от плодovitости нашего мозга.

Подобно шестидесятилетнему человеку, наша Земля преодолела три четверти своего жизненного пути. Земле примерно 4,57 миллиарда лет, и законы физики небесных тел говорят о том, что еще через миллиард лет Солнце расширится до такой степени, что жить на нашей планете станет невозможно. Если оглянуться назад, можно сказать, что после возникновения планеты на ней достаточно быстро зародилась жизнь – всего через несколько сотен миллионов лет. Примерно через два с половиной миллиарда лет появились многоклеточные существа. Затем последовательно возникали головы, руки, сознание – все быстрее и быстрее. В соответствии с законом Мура об удвоении мощности процессоров каждые два года, биологический мир тоже развивается с ускорением: большая часть срока жизни планеты истекла, когда появилось существо с крупным мозгом и начало изготавливать каменные орудия... и всего за какие-то тысячи лет возникли интернет, методы клонирования генов и схемы геоинженерного переустройства атмосферы планеты. Планетарные и биологические изменения привели к революционному моменту, когда идеи и изобретения начали изменять наши тела, саму планету и наши с ней взаимоотношения. До того как появился наш вид, триллионам клеток водорослей понадобились миллиарды лет, чтобы переделать планету, а теперь изменения направляются идеями, передающимися со скоростью света.

Благодаря генетическому наследию наш вид способен к освоению широких просторов Вселенной, изучению истории длиной 13,7 миллиарда лет и осознанию наших глубоких связей с планетами, галактиками, живыми существами. Есть что-то почти волшебное в мысли о том, что наши тела, мозг и идеи уходят корнями в земную кору, воды океанов и атомы в составе небесных тел. Звезды в небе и окаменелости в земле – это маяки,

посылающие нам сигналы о том, что, несмотря на всё ускоряющийся темп развития человечества, мы представляем собой всего лишь новую ниточку в старых связях, древних как сами небеса.

### **Примечания и дополнительная литература**

Существуют прекрасные книги об истории Вселенной, нашей планеты и жизни, написанные для широкой публики. Со времен сочинения Карлом Саганом книги “Космос” (Sagan, Carl Cosmos. New York: Ballantine Books, 1985) прошло несколько десятилетий, но она по-прежнему остается одним из наиболее понятных и запоминающихся произведений о Вселенной и нашей с ней связи. Свой взгляд на историю Вселенной, начиная с Большого взрыва и заканчивая образованием нашей планеты, изложили многие ученые. Я советую, например, ознакомиться со следующими книгами: Krauss, L. Atom: A Single Oxygen Atom’s Journey from the Big Bang to Life on Earth... and Beyond. Boston: Back Bay Books, 2002; DeGrasse Tyson, Neil, and Donald Goldsmith Origins: Fourteen Billion Years of Cosmic Evolution. New York: Norton, 2005. Ричард Форти со свойственной ему элегантностью описывает историю планеты в книге: Fortey, R. Earth: An Intimate History. New York: Knopf, 2002. В этом же списке и другие произведения об истории планеты и о происходящих на ней процессах: Flannery, Tim Here on Earth: A Natural History of the Planet. New York: Atlantic Monthly Press, 2011; Novacek, Michael Terra: Our 100-Million-Year-Old Ecosystem – and the Threats That Now Put It at Risk. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2007; Stager, Curt Deep Future: The Next 100,000 Years of Life on Earth. New York: Thomas Dunne Books, 2011. Рекомендую следующие труды по истории жизни на Земле для широкого круга читателей:

Dawkins, Richard Ancestor’s Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Evolution. New York: Mariner Books, 2005; Knoll, Andrew Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 2004; Switek, Brian Written in Stone: Evolution, the Fossil Record, and Our Place in Nature. New York: Bellevue Literary Press, 2010.

//-- Глава 1. И все завертелось --//

Поиск окаменелостей на основании предсказаний эволюционной теории и исторической геологии предполагает использование данных стратиграфии, седиментологии и структурной геологии. Если говорить кратко, то стратиграфия занимается изучением относительного геологического возраста и взаимосвязи горных пород. Седиментология рассматривает условия образования осадочных горных пород, таких как песчаники, сланцы и алевроиты, в которых время от времени встречаются окаменелости, интересующие палеонтологов вроде меня. Возникли ли горные породы в результате отложения осадков в озерах, реках или океанах или были образованы в результате других геологических процессов? Структурная геология пытается определить суть и причины перемещений и изменений горных пород со времен их образования миллионы лет назад до сегодняшнего дня. Литература по этой теме очень обширна. Чтобы понять суть без какой-либо предварительной подготовки, советую ознакомиться с книгой: Vjornerud, Marcia Reading the Rocks: The Autobiography of the Earth. New York: Basic Books, 2005. Упомянутая выше книга Форти также относится к данной категории. Также посоветую

замечательную книгу Уолтера Алвареса: Alvarez, Walter The Mountains of St. Francis: Discovering the Geological Events That Shaped the Earth. New York: Norton, 2008.

Билл Эймерал предположил возможность обнаружения окаменелостей в триасовых отложениях Гренландии в сборнике Shell Oil Guide to the Permian and Triassic of the World. Из горы макулатуры была извлечена статья Perch-Nielsen, K., et al. Revision of Triassic Stratigraphy of the Scoresby Land and Jameson Land Region, East Greenland // Meddelelser om Gr nland 193 (1974): 94–141. Эта статья привела Билла, Чака и Фариша к элегантным работам датского специалиста по седиментологии Ларса Клемменсена: Clemmensen, L. B. Triassic Lithostratigraphy of East Greenland Between Scoresby Sund and Kejser Franz Josephs Fjord. Gr nlands geologiske unders gelse, 1980; Clemmensen, L. B. Triassic Rift Sedimentation and Palaeogeography of Central East Greenland // Geological Survey of Greenland, Bulletin, no. 136 (1980): 5–72. Эти работы стали для нас своего рода Розеттским камнем, поскольку показали возможность существования окаменелостей в этих отложениях и их сходство с отложениями Северной Америки (которые, в свою очередь, описаны в статье Olsen, P. E. Stratigraphic Record of the Early Mesozoic Breakup of Pangea in the Laurasia-Gondwana Rift System // Annual Reviews of Earth and Planetary Science 25 [1997]: 337–401). Это был ключевой момент в нашей подготовительной работе.

Чтобы понять запечатленное в камнях прошлое, нужны практические знания (как подобрать еду и обувь, как научиться искать и находить) и направляющие идеи. Важность первых отметил еще Наполеон: “Армия марширует, пока полон желудок”. У вас может быть лучшее в мире оборудование, но если с провиантом проблемы, очень скоро дела пойдут вкривь и вкось. Когда команда нормально питается, люди могут вытерпеть превратности погоды, тоску и монотонность, с которыми сопряжены поиски окаменелостей. Долгий день в холоде и сырости, не увенчавшийся никакими достижениями, может быть вознагражден хорошим ужином. Перед отправлением в Арктику мы засушили овощей и фруктов, чтобы обогатить рацион дополнительными вкусами и запахами. Зайдите ко мне в лабораторию в апреле, перед началом полевого сезона, и вы сможете увидеть и понюхать киви, клубнику и помидоры Сан-Марцано, подсыхающие в сушильных шкафах. В поле мы даже выпекаем хлеб, поскольку запах поднимающегося хлеба не только помогает продать дом, как гласит пословица, но и поднимает настроение угрюмой команды. В поле для нас этот хлеб подобен лучшему французскому багету. К сожалению, это наше произведение по плотности больше напоминает строительный материал, чем съедобную субстанцию, и дома таким хлебом, ясное дело, питаться нельзя.

В первый сезон, в 1988 году, мы мало об этом думали. Наша пища состояла из готовых сушеных продуктов в разноцветных упаковках и с такими затейливыми названиями, как скалопини из телятины, курица в соусе марсала и тетрацини с индейкой. Через две недели пребывания в экспедиции мы поняли, что все эти блюда одинаковы на вкус. Тоскливым подтверждением нашей догадки стал список ингредиентов: все блюда состояли приблизительно из одних и тех же составляющих и различались лишь цветом упаковки и формой макарон. Эта новость мало нас обрадовала. Мы сдабривали однообразную пищу острым соусом и специями, что мало изменяло ее вкус. В тот год в экспедиции я довольно сильно похудел.

Наши рецепты приготовления сушеных блюд можно найти на сайте: <http://tiktaalik.uchicago.edu>. Эта пища годится для ужина после долгого перехода по тундре или лазанья по скалам, требует минимум энергии и воды, может быть адаптирована для

каждого – от строгого вегетарианца до большого любителя мясного – и мало весит. В принципе, такая еда пригодна даже для приема гостей (которых вы больше не собираетесь к себе приглашать).

В качестве популярного вступления в геологическую историю востока Северной Америки я предлагаю книгу Чета и Морин Раймо: Raymo, Chet, and Maureen E. Raymo *Written in Stone*. Hensonville, N. Y.: Black Dome Press, 2007. Историю о динозавре, обнаруженном в опорах моста, можно прочесть у Эдвина Колберта: Colbert, Edwin H. *Men and Dinosaurs*. New York: E. P. Dutton, 1968.

Открытия, сделанные нами в Гренландии, описаны в следующих статьях: Jenkins Jr., F. A., et al. A Late Triassic Continental Fauna from the Fleming Fjord Formation, Jameson Land, East Greenland / In: *The Nonmarine Triassic*. Lucas, S. G., and M. Morales, eds. Albuquerque: New Mexico Museum of Natural History and Science, 1993, 74; Jenkins Jr., F. A., et al. A New Record of Late Triassic Mammals from the Fleming Fjord Formation, Jameson Land, East Greenland / In: *The Nonmarine Triassic*. Lucas, S. G., and M. Morales, eds. Albuquerque: New Mexico Museum of Natural History and Science, 1993, 94. Наиболее важные из найденных нами окаменелостей млекопитающих описаны в статье Jenkins Jr., F. A., et al. *Haramiyids and Triassic Mammalian Evolution // Nature 385 (1997): 715–718.*

Общую информацию о происхождении млекопитающих и о связи маленького зуба с эволюционным древом нашего вида можно найти в следующих работах: Kielan-Jaworowska, Z., Cifelli, R. L., and Z.-X. Luo *Mammals from the Age of Dinosaurs: Origins, Evolution, and Structure*. New York: Columbia University Press, 2004; Luo, Z.-X. *Commentary on Mammalian Dental Evolutionary Development // Nature 465 (2010): 669.*

//-- Глава 2. Эхо далеких взрывов --//

Информацию об относительном содержании различных атомов в организме человека я почерпнул из главы 1 книги Роберта Стернера и Джеймса Элсера: Sterner, Robert W., and James J. Elser *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 2002. Конечно, это не истинная химическая формула, поскольку наше тело состоит не из одинаковых молекул, как кристаллик соли, а из множества молекул разных типов.

Представление о древе жизни, объединяющем всех ныне живущих и вымерших существ, является одним из следствий теории Дарвина. Это древо позволяет делать специфические и проверяемые предсказания и формулировать гипотезы. Основы этих методов изложены в книге Докинза: Dawkins, Richard *Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Evolution*. New York: Mariner Books, 2005. Если вас интересует мнение более узких специалистов, советую прочесть статью:

Wiley, E. O., et al. *The Complete Cladist: A Primer of Phylogenetic Procedures / Special publication № 19*. Lawrence: University of Kansas, Museum of Natural History, 1991. Чтобы полнее окунуться в атмосферу этой науки и познакомиться с разными мнениями, обратитесь к научным журналам в области кладистики и системной биологии.

История Генриетты Ливитт описана в статье: Pickering, E. C. *Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud // Harvard College Observatory Circular 173 (1912): 1–3.* Работе Ливитт и других женщин в обсерватории посвящены также книги: Byers, Nina, and Gary Williams, eds. *Out of Shadows: Contributions of Twentieth-Century Women to Physics*. New York: Cambridge University Press, 2006; Hamblin, J. D. *Science in the Early Twentieth Century: An Encyclopedia*. Santa Barbara, Calif.: ABC-CLIO, 2005, 181–184.

Обсуждение Большого взрыва и его последствий можно найти в книгах: Krauss, L. *Atom:*

A Single Oxygen Atom's Journey from the Big Bang to Life on Earth... and Beyond. Boston: Back Bay Books, 2002; De-Grasse Tyson, Neil, and Donald Goldsmith Origins: Fourteen Billion Years of Cosmic Evolution. New York: Norton, 2005; Singh, Simon Big Bang: The Origin of the Universe. New York: Harper Collins, 2005; Weinberg, Steven The First Three Minutes. New York: Basic Books, 1993.

Испытание устройства Ivy Mike описано в книге: Rhodes, Richard Dark Sun: The Making of the Hydrogen Bomb. New York: Simon & Schuster, 1995.

//-- Глава 3. Под счастливой звездой --//

Со времен небулярной гипотезы Сведенборга, Канта и Лапласа происхождение планет Солнечной системы оставалось темой активных исследований и жарких споров. Основные вопросы обсуждаются в книге: DeGrasse Tyson, Neil, and Donald Goldsmith Origins: Fourteen Billion Years of Cosmic Evolution. New York: Norton, 2005. О процессе образования Земли можно прочесть в статье: Canup, R. M. Accretion of the Earth // Philosophical Transactions of the Royal Society A 366 (2008): 4061–4075. Тем, кто математически подготовлен и хочет самостоятельно погрузиться в изучение оригинальных статей, советую обратиться к основному научному журналу в этой области – Icarus: The International Journal of Solar System Studies – официальному изданию отделения планетарных наук Американского астрономического общества.

Гарри Максуин замечательно написал о Солнечной системе, метеоритах и космохимии. Особенно советую прочесть книгу: McSween, Harry Stardust to Planets: A Geological Tour of the Solar System. New York: St. Martin's Press, 1993. Рекомендую также замечательный обзор по динамике образования Солнечной системы: Beatty, J. Kelly, Petersen, Carolyn C., and Andrew Chaikin The New Solar System. 4th ed. Cambridge, Mass.: Sky Publishing, 1999.

Проблемы космохимии включают в себя изучение химического состава метеоритов, лунных камней и других материалов внеземного происхождения. В специальном выпуске журнала Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) от 29 ноября 2011 года вы найдете несколько великолепных статей на эту тему. Особенно рекомендую ознакомиться с первой: MacPherson, G., and M. H. Thiemens Cosmochemistry: Understanding the Solar System Through Analysis of Extraterrestrial Materials // PNAS 108 (2011): 19130–34.

Изучение возраста Земли само имеет богатую историю. Рекомендую вам книгу, вышедшую несколько десятилетий назад, но все еще являющуюся великолепным источником информации об истории и методах изучения возраста Земли: Dalrymple, G. Brent The Age of the Earth.

Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1991. Рекомендую также обзор того же автора: Dalrymple, G. Brent The Age of the Earth in the Twentieth Century: A Problem (Mostly) Solved / In: The Age of the Earth: From 4004 BC to AD 2002. Geological Society, London, Special Publication № 190. Lewis, C. L. E., and S. J. Knell, eds. London: Geological Society, 2001, 205–221. В этом специальном выпуске собрано множество замечательных статей об изучении возраста Земли, истории этой науки и ее методах.

Циркон может многое рассказать о происхождении Земли. Познакомьтесь, например, со статьей: Valley, J. W., Peck, W. H., and

E. M. King Zircons Are Forever // Outcrop – University of Wisconsin-Madison Geology Alumni Newsletter (1999), 34–35. Более подготовленным читателям предлагаю статью: Wilde et al., S. A. Evidence from Detrital Zircons for the Existence of Continental Crust and Oceans on the Earth 4.4 Gyr Ago // Nature 409 (2001): 175–178. Описание и значение самых



старых горных пород Земли вы найдете в книге: Van Kranendonk, Martin, Smithies, R. Hugh, and Vickie C. Bennett, eds. *Earth's Oldest Rocks*. Boston: Elsevier, 2007. В этом издании собрано огромное количество информации, подготовленной специалистами и для специалистов.

Описывая возраст пород, геологи оперируют понятиями относительного и абсолютного времени. Этой теме посвящена книга: Macdougall, Doug *Nature's Clocks: How Scientists Measure the Age of Almost Everything*. Berkeley: University of California Press, 2008. Относительное время описывает связь между различными геологическими пластами: обычно поверхностные пласты младше тех, что залегают глубже. Ситуация осложняется, когда пласты подвергаются последующим преобразованиям. Понимание истории таких отложений основано на расшифровке разломов, перемещений и сдвигов отдельных пластов.

Расчет абсолютного возраста горных пород и минералов основан на анализе радиоактивного распада. Некоторые атомы отличаются неустойчивой конфигурацией электронов, нейтронов и протонов, что заставляет их терять или приобретать некоторые компоненты. Если это происходит, масса атома может меняться, и атомы переходят в новую форму. Важно, что эти превращения происходят с постоянной скоростью, характеризующейся таким физическим параметром, как время полураспада. Время полураспада атома – это время, за которое половина образца распадается с образованием дочерних элементов. Если известно количество исходного и дочерних элементов, а также время полураспада, можно рассчитать, как долго продолжался распад исходных атомов. В этом смысле особый интерес для геологов представляют атомы урана-238, аргона-39, углерода-14 и некоторые другие. Для каждого вида исследований лучше подходит определенный атом: для анализа более старых пород используют атомы с более низкой скоростью распада, для более молодых – атомы с более высокой скоростью распада. Уран-238 отличается большим периодом полураспада, и поэтому с его помощью изучают самые ранние события истории Земли. Углерод-14 распадается так быстро, что его можно применять лишь для анализа недавних событий вроде появления и развития человеческого общества.

Особенно информативным может быть определение изотопов (вариантов атомов с разной массой) урана и свинца в цирконе, как в горном хребте Джек-Хиллс. Уран-238 с периодом полураспада четыре с половиной миллиарда лет превращается в стабильный свинец-206. Отсчет начался в тот момент, когда уран включился в состав циркона при его образовании. Стал накапливаться свинец-206. Если изучить этот циркон сейчас и сделать логичное предположение, что весь свинец-206 в его составе образовался в результате распада урана, можно рассчитать возраст циркона.

О временных рамках основных событий в истории Солнечной системы и Земли говорится в статье: Albarede, F. *Volatile Accretion History of the Terrestrial Planets and Dynamic Implications* // *Nature* 461 (2009): 1227–1233.

Было выдвинуто множество гипотез, объясняющих происхождение воды на нашей планете. Долгое время считалось, что основным источником воды были ледяные кометы. Однако эта версия была поставлена под сомнение, когда с помощью спутника удалось взять пробы льда с приблизившейся к Земле кометы Хейла – Боппа. Оказалось, что вода на комете имеет другой изотопный состав, чем вода в земных океанах. Однако позднее была взята проба льда с кометы Хартли-2, и оказалось, что эта вода по составу гораздо ближе к земной. Теперь существует несколько гипотез об источнике земной воды, причем

они не являются взаимоисключающими: это могли быть кометы, астероиды и даже компоненты самой Земли, подвергшиеся сдавливанию и конденсации. Подробнее об этом можете узнать из обзоров: De Leeuw, N. H., et al. Where on Earth Has Our Water Come From? // *Chemical Communications* 46 (2010): 8923–8925; Drake, M. J., and H. Campins Origin of Water in the Terrestrial Planets // *Proceedings of the International Astronomical Union* 1, № S229 (2006): 381–394. Обнаружение воды на комете Хартли-2 из пояса Койпера описано в статье: Hartogh, P., et al. Ocean-Like Water in the Jupiter-Family Comet 103P/Hartley 2 // *Nature* 478 (2011): 218–220. О воде в полярных кратерах на Меркурии можно узнать на сайте НАСА: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/messenger/multimedia/messenger\\_orbit\\_image20120322\\_3.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/messenger/multimedia/messenger_orbit_image20120322_3.html).

Об образовании планет Солнечной системы и их взаимоотношениях говорится в статье: Canup, R. M. Origin of Terrestrial Planets and the Earth-Moon System // *Physics Today*, April 2004, 56–62.

//-- Глава 4. О времени --//

В последние годы были опубликованы результаты многочисленных исследований, касающихся происхождения Луны. См. например:

Canup, R. M. Formation of the Moon // *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 42 (2004): 441–475; Canup, R. M., and K. Righter, eds. *Origin of the Earth and Moon*. Tucson: University of Arizona Press, 2000; Canup, R. M. Origin of Terrestrial Planets and the Earth-Moon System // *Physics Today*, April 2004, 56–62.

О развитии способов измерения времени можно прочесть в работах Энтони Авени, в частности в книге: Aveni, Anthony *Empires of Time: Calendars, Clocks, and Cultures*. Boulder: University of Colorado Press, 2002.

Идея о том, что внутренние часы повсеместно распространены в природных объектах, подробно обсуждается в книге: Macdougall, Doug *Nature's Clocks: How Scientists Measure the Age of Almost Everything*. Berkeley: University of California Press, 2008.

Советую превосходную книгу Роберта Левайна о часах, времени и нашем восприятии времени: Levine, Robert A *Geography of Time*:

*On Tempo, Culture, and the Pace of Life*. New York: Basic Books, 1998.

Мишель Сифр свой опыт пребывания в пещере описал в книге: Siffre, Michel *Beyond Time*. New York: McGraw-Hill, 1964 [6 - Рус. пер.: Сифр, Мишель *Один в глубинах земли*. М.: Мир, 1966.].

Жизнь в науке Курта Рихтера описана в его биографии, опубликованной Академией наук США: *Biographical Memoirs*, vol. 65. Washington, D. C.: National Academy Press, 1994.

История Сеймура Бензера и открытие молекулярных основ циркадных ритмов описаны в замечательной книге: Weiner, Jonathan *Time, Love, and Memory: A Great Biologist and His Quest for the Origins of Behavior*. New York: Vintage, 2000.

Если вы хотите больше узнать о биологических часах, советую начать с легкой и забавной книги: Palmer, John D. *The Living Clock*. Oxford: Oxford University Press, 2002. Некоторые оригинальные статьи перечислены ниже.

Обнаружение в лаборатории Бензера мутантных животных с нарушенным биологическим ритмом описано в статье: Konopka, R. J., and S. Benzer *Clock Mutants of Drosophila melanogaster* // *PNAS* 68 (1971): 2112–2116. Ген, ответственный за это нарушение, был клонирован и исследован в лабораториях Джеффри Холла (Jeffrey Hall; Университет им. Брандейса), Майкла Росбаша (Michael Rosbash; Университет им. Брандейса) и Майкла Янга (Michael Young; Институт им. Рокфеллера). Описанию

мутантных организмов с нарушенным биологическим ритмом посвящено несколько статей, в том числе: Sun, Z. S., et al. RIGUI, a Putative Mammalian Ortholog of the Drosophila Period Gene // *Cell* 90 (1997): 1003–1011; Tei, H., et al. Circadian Oscillation of a Mammalian Homologue of the Drosophila Period Gene // *Nature* 389 (1997): 512–516; Young, M. W., and S. A. Kay Time Zones: A Comparative Genetics of Circadian Clocks // *Nature Reviews Genetics* 2 (2001): 702–715; Yu, W., and P. E. Hardin Circadian Oscillators of Drosophila and Mammals // *Journal of Cell Science* 119 (2006): 4793–4795; Hamilton, E. E., and S. A. Kay SnapShot: Circadian Clock Proteins // *Cell* 135 (2008); Lee, K., Loros, J. J., and J. C. Dunlap Interconnected Feedback Loops in the Neurospora Circadian System // *Science* 289 (2000): 107–110; Tauber, E., et al. Clock Gene Evolution and Functional Divergence // *Journal of Biological Rhythms* 19 (2004): 445–458; Bell-Pedersen, D., et al. Circadian Rhythms from Multiple Oscillators: Lessons from Diverse Organisms // *Nature Reviews Genetics* 6 (2005): 544–556.

Циркадные ритмы и их эволюция обсуждаются во многих превосходных научных обзорах и книгах. В качестве вступления рекомендую следующие статьи: Dunlap, J. Molecular Basis for Circadian Clocks // *Cell* 96 (1999): 271–290; Rosbash, M. Implications of Multiple Circadian Clock Origins // *PLoS Biology* 7 (2009): 17–25; Panda, S., Hogenesch, J. B. and S. A. Kay Circadian Rhythms from Flies to Human // *Nature* 417 (2002): 329–335.

Сходство механизмов сна у разных организмов подробно обсуждается в статьях: Cirelli, C. The Genetic and Molecular Regulation of Sleep: From Fruit Flies to Humans // *Nature Reviews Neuroscience* 10 (2009): 549–560; Panda, S., Hogenesch, J. B. and S. A. Kay Circadian Rhythms from Flies to Human // *Nature* 417 (2002): 329–335.

Об использовании раковин для определения длительности суток в разные геологические эпохи я прочел в статье: Zhenyu, Z., et al. The Periodic Growth Increments of Biological Shells and the Orbital Parameters of Earth – Moon System // *Environmental Geology* 51 (2006): 1271–1277. Об эволюции циркадных ритмов говорится в работе: Paranjpe, D. A., and V. K. Sharma Evolution of Temporal Order in Living Organisms // *Journal of Circadian Rhythms* 3 (2005): 7–17.

Общую информацию о медицине сна можно почерпнуть из книги:

Kryger, Meir H., Roth, Thomas, and William C. Dement Principles and Practice of Sleep Medicine. Philadelphia: Saunders, 2005. Также советую ознакомиться с коротким, но содержательным обзором о связи циркадных ритмов и клинических состояний: Barnard, A. R., and P. M. Nolan When Clocks Go Bad: Neurobehavioural Consequences of Disrupted Circadian Timing // *PLoS Genetics* 4 (2008).

Связь между репликацией ДНК, циркадным ритмом и раком обсуждается в статьях: Mitra, S. Does Evening Sun Increase the Risk of Skin Cancer? // *PNAS* 108, no. 47 (2011): 18857–18858; Gaddameedhi, S., et al. Control of Skin Cancer by the Circadian Rhythm // *PNAS* 108 (2011): 18790–18895; Sahar, S., and P. Sassone-Corsi Metabolism and Cancer: The Circadian Clock Connection // *Nature Reviews Cancer* 9 (2009): 886–896.

Подробнее о надгробных плитах из Индианы можно узнать из статьи: Kvale, E., et al. The Art, History, and Geoscience of Hindostan Whetstone Gravestones in Indiana // *Journal of Geoscience Education* 48 (2000): 337–342. О горных породах – ритмитах, из которых сделаны эти плиты, можно узнать из книги: Flemming, B. W., and A. Bartholom Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments. Oxford: Blackwell Science, 1995.

//-- Глава 5. От малого к большому --//

Открытие древнейших живых существ и жизнь Баргхорна описаны в биографической статье, опубликованной Академией наук США в сборнике: *Biographical Memoirs*, vol. 87.

Washington, D. C.: National Academy Press, 2005.

Яркое описание открытия первых живых организмов было сделано одним из учеников Баргхорна, впоследствии также знаменитым ученым – Уильямом Шопфом: Schopf, J. William Cradle of Life. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 2001. Также советую прекрасную книгу: Brasier, Martin Darwin's Lost World: The Hidden History of Animal Life. Oxford: Oxford University Press, 2009. Оpoznать в окаменелостях ранние формы жизни достаточно сложно, и этот вопрос часто вызывает дискуссии, как между Шопфом и Брейзиром. Обзор этой темы и изложение мнения одной из сторон вы сможете найти в статье: Brasier, M. D., et al. Earth's Oldest (c. 3.5Ga) Fossils and the "Early Eden Hypothesis": Questioning the Evidence // *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 34 (2004): 257–260. В то время, когда была написана эта книга, самыми ранними формами жизни считались либо те, что описаны Шопфом в его книге, либо те, что найдены Брейзиром и описаны в статье: Wacey, D., et al. Microfossils of Sulphur-Metabolizing Cells in 3.4-Billion-Year-Old Rocks of Western Australia // *Nature Geoscience* (2011).

Рассуждения Галилея о размерах предметов и силе тяготения можно прочесть в переводе Стиллмана Дрейка с комментариями Стивена Джея Гулда, Альберта Эйнштейна и Дж. Л. Хейлброна: *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems: Ptolemaic and Copernican*. New York: Modern Library, 2001.

Рассказ о Левенгуке взят из книги: Dobell, C., ed. Antony van Leeuwenhoek and His "Little Animals". New York: Dover, 1960. Описание микроскопов приводится в книге: Stong, Clair L. The "Scientific American" Book of Projects for the Amateur Scientist. New York: Simon & Schuster, 1960.

Роль водорослей в повышении концентрации кислорода в атмосфере обсуждается в книге: Knoll, Andrew Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 2004. Значение кислорода для эволюции и истории жизни обсуждается в двух других полезных книгах: Nick, Lane Oxygen: The Molecule That Made the World. Oxford: Oxford University Press, 2003; Ward, Peter D. Out of Thin Air: Dinosaurs, Birds, and Earth's Ancient Atmosphere. Washington, D. C.: Joseph Henry Press, 2006. Об изменении содержания кислорода в атмосфере в более поздние геологические эпохи можно узнать из статьи: Berner, R. A., et al. Phanerozoic Atmospheric Oxygen // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 31 (2003): 105–134.

Теперь считается, что увеличение концентрации кислорода в атмосфере было не однократным событием, а результатом нескольких событий, происходивших на протяжении сотен миллионов лет. Вот некоторые статьи на эту тему: Kump, L. R. The Rise of Atmospheric Oxygen // *Nature* 451 (2007): 277–278; Bekker, A., et al. Dating the Rise of Atmospheric Oxygen // *Nature* 427 (2004): 117–120; Holland, H. The Oxygenation of the Atmosphere and Oceans // *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 361 (2006): 903–915.

Как и подобает столь важному явлению, как увеличение содержания кислорода в атмосфере, этот вопрос является дискуссионным. Приведенная в данной книге гипотеза о причинах увеличения содержания кислорода обсуждается в статье: Kump, L. R., and M. E. Barley Increased Subaerial Volcanism and the Rise of Atmospheric Oxygen 2.5 Billion Years Ago // *Nature* 448 (2007): 1033–1037.

История о том, как Дарлингтон и Барбур бросали лягушек, была частью фольклора Музея сравнительной зоологии в период моего обучения в университете 80-х годах. Эта история, а также случай с крокодилом приводятся в воспоминаниях о Филипе

Дарлингтоне, написанных его коллегой по Гарварду Э. О. Уилсоном: *Biographical Memoirs*, vol. 60. Washington, D. C.: National Academy Press, 1991.

Эссе Дж. Б. С. Холдейна (Haldane, J. B. S. *On Being the Right Size*) было напечатано в 1926 году. Его можно прочитать на сайте: [http://www.physlink.com/Education/essay\\_haldane.cfm](http://www.physlink.com/Education/essay_haldane.cfm).

Изучением связи между размерами тела и другими биологическими функциями занимается раздел науки, называемый аллометрией. Литература по этой теме достаточно обширна, но несколько обзоров позволят быстро продвинуться в освоении данного вопроса. Кроме работы Холдейна советую ознакомиться со статьей Стивена Джея Гулда, которую он написал, будучи еще студентом. Даже спустя сорок лет эта работа не потеряла значения: Gould, Stephen Jay *Allometry and Size in Ontogeny and Phylogeny* // *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 41 (1966): 587–638. История вопроса изложена в статье: Gayon, J. *History of the Concept of Allometry* // *American Zoologist* 40 (2000): 748–758. См. также хорошую книгу с многочисленными ссылками: Calder, William A. *Size, Function, and Life History*. Mineola, N. Y.: Dover, 1996. Известный биолог Джон Боннер написал выдающийся труд о значении размера тела, предназначенный для широкого круга читателей: Bonner, John Tyler *Why Size Matters: From Bacteria to Blue Whales*. Rev. ed. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 2011.

Сложность передвижения в воде для мелких существ описана в статье: Purcell, E. M. *Life at Low Reynolds Number* // *American Journal of Physics* 45 (1977): 3–11. Размышления Вента о влиянии размера нашего тела на способности отражены в статье: Went, F. W. *The Size of Man* // *American Scientist* 56 (1968): 400–413.

Идеи Престона Клауда изложены им для широкой аудитории: Cloud, Preston *Cosmos, Earth, and Man: A Short History of the Universe*. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1980. В биографии Клауда, изданной Национальной академией наук США, описана его научная деятельность и упоминаются приведенные мною случаи из его жизни: *Biographical Memoirs*, vol. 67. Washington, D. C.: National Academy Press, 1995.

Общий обзор с большим количеством ссылок о факторах, определяющих размер тела у дрозофил: Oldham, S., et al. *Genetic Control of Size in Drosophila* // *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 355 (2000): 945–952.

О генах, контролирующих размер тела, и об их сходстве у дрозофил и людей см.: Dong, J., et al. *Elucidation of a Universal Size-Control Mechanism in Drosophila and Mammals* // *Cell* 130 (2007): 1120–1133.

Негативная сторона больших размеров тела, особенно у обитателей богатой кислородом среды, подчеркивается в статьях: Zeng, Q., and Hong, W. *The Emerging Role of the Hippo Pathway in Cell Contact Inhibition, Organ Size Control, and Cancer Development in Mammals* // *Cancer Cell* 13 (2008): 188–192; Pan, D. *The Hippo Signaling Pathway in Development and Cancer* // *Developmental Cell* 19, no. 4 (2010): 491–505; Badouel, C. Garg, A. and H. McNeill *Herding Hippos: Regulating Growth in Flies and Man* // *Current Opinion in Cell Biology* 21, no. 6 (2009): 837–843.

//-- Глава 6. Соединяем точки --//

Теория движения тектонических плит стала результатом работы многих ученых. Вот несколько замечательных книг о возникновении и истории развития теории континентального дрейфа и движения тектонических плит: Oreskes, N., and H. E. Le Grand, eds. *Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*. Boulder, Colo.: Westview Press, 2003; Oreskes, Naomi *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method*

in American Earth Science. New York: Oxford University Press, 1999; Lawrence, David M. Upheaval from the Abyss: Ocean Floor Mapping and the Earth Science Revolution. New Brunswick, N. J.: Rutgers University Press, 2002.

История жизни Эдуарда Зюсса и его высказывания взяты из некролога, составленного знаменитым американским палеонтологом Чарльзом Шукертом (Science, June 26, 1914, 933–935).

Жизнь, работа и вклад в науку Альфреда Вегенера обсуждаются в книге: McCoy, R. M. Ending in Ice. Oxford: Oxford University Press, 2006.

Запись выступления Мэри Тарп, в котором она рассказывает о своей работе, можно найти на сайте: [http://www.aip.org/history/ohilist/22896\\_1.html](http://www.aip.org/history/ohilist/22896_1.html).

Одна из классических работ, описывающих накопление данных в поддержку теории континентального дрейфа: Uyeda, Seiya The New View of the Earth. San Francisco: W. H. Freeman, 1978. Хотя эта короткая книга написана более тридцати лет назад, она является прекрасным дополнением и разъяснением материала данной главы. Еще одна книга, с которой стоит ознакомиться: Kearey, Philip, and Frederick J. Vine Global Tectonics. London: Blackwell Science, 1996.

Прочитирована следующая статья Фредерика Вайна: Vine, F. J., and D. H. Matthews Magnetic Anomalies over Oceanic Ridges // Nature 199 (1963): 947–949.

Краткую биографию Джона Т. Уилсона можно найти на сайте: [http://gsahist.org/gsat/gt01sept24\\_25.htm](http://gsahist.org/gsat/gt01sept24_25.htm). Тем, кто желает глубже понять материал главы, советую следующие статьи: Wilson, J. T. A Revolution in Earth Science // Geotimes 13 (1968): 10–16; Wilson, J. T. Did the Atlantic Close and Then Reopen? // Nature 211 (1966): 676–681. Увидеть Уилсона, разъясняющего свою теорию, и подробнее узнать об его подходе мож но здесь: <http://www.youtube.com/watch?v=OmrXy65O6fY>, <http://www.youtube.com/watch?v=fdSwEFyurDY>.

О связи между биологией млекопитающих (наличие плаценты, размеры тела и метаболизм) и тектоническими изменениями я узнал из работы Пола Фолковски и его коллег: Falkowski, P., et al. The Rise of Oxygen over the Past 205 Million Years and the Evolution of Large Placental Mammals // Science 309 (2005): 2202–2204. О других аспектах влияния кислорода на историю жизни и процессы на Земле можно узнать из книги: Ward, Peter D. Out of Thin Air: Dinosaurs, Birds, and Earth's Ancient Atmosphere. Washington, D. C.: Joseph Henry Press, 2006 и статьи: Berner, R. A., et al. Phanerozoic Atmospheric Oxygen // Annual Review of Earth and Planetary Sciences 31 (2003): 105–134.

//-- Глава 7. Цари горы --//

Об Уильяме Смите читайте в книге: Winchester, Simon Map That Changed the World. New York: Viking, 2001. Идеи Джона Филлипса и его работа описаны в книге: Morrell, Jack John Phillips and the Business of Victorian Science. London: Ashgate, 2005. Чтобы узнать о работах Филлипса из первоисточника, можете посмотреть его Treatise on Geology. Surrey: Ashgate Media, 2001.

Об идеях и трудах Кювье можно прочесть в книге: Rudwick, M. J. S. Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes: New Translations and Interpretations of the Primary Texts. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

Концепция вымирания и история ее возникновения изложены во многих книгах и статьях, предназначенных для широкого круга читателей. См. например: Alvarez, Walter T. Rex and the Crater of Doom. New York: Vintage, 1999; Sepkoski, David, and Michael Ruse, eds. The Paleobiological Revolution. Chicago: University of Chicago Press, 2009; Rudwick, M.



J. S. The Meaning of Fossils: Episodes in the History of Paleontology. Chicago: University of Chicago Press, 1985.

О работе Нормана Ньюэлла можно узнать из некролога, напечатанного в *Journal of Paleontology* 80 (2006): 607–608. См. также его статьи об исчезновении видов: *Crises in the History of Life // Scientific American* 208 (1963): 76–92; *Mass Extinctions at the End of the Cretaceous Period // Science* 149 (1965): 922–924.

Пятидесяти томные “Основы палеонтологии беспозвоночных” (*Treatise on Invertebrate Paleontology*) по-прежнему можно найти в Палеонтологическом институте Канзаса (<http://paleo.ku.edu/pdf/brochure.pdf>).

Ньюэлл был одним из тех, кто во всеуслышание заявлял о реальности массовых вымираний. Другим активным сторонником этой идеи был Отто Шиндевольф. Вы можете познакомиться с его статьей: *Ursachen der grossen erdgeschichtlichen Faunenschnitte // Neues Jahrbuch f r Geologie und Pala ntologie. Monatshefte* (1954): 457–465.

Гипотеза столкновения с астероидом для объяснения событий конца мелового периода обсуждается в книге: Alvarez, Walter T. *Rex and the Crater of Doom*. New York: Vintage, 1999. Рекомендую также статью: Alvarez, L. W., et al. *Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Boundary Extinction // Science* 208 (1980): 1095–1108.

Другие случаи массового исчезновения животных, выявленные в результате анализа окаменелостей, кажется, не были спровоцированы столкновением небесных тел. Подробное обсуждение этих событий можно найти в следующих работах: Benton, M. J. *When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time*. New York: Thames & Hudson, 2003; Erwin, D. H. *Extinction: How Life on Earth Nearly Ended 250 Million Years Ago*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 2008; McGhee, G. R. *The Late Devonian Mass Extinction*. New York: Columbia University Press, 1996; Raup, D. M. *The Nemesis Affair: A Story of the Death of Dinosaurs and the Ways of Science*. New York: Norton, 1999; Ward, P. D. *Rivers in Time*. New York: Columbia University Press, 2002.

О встрече в Вудсхоуле рассказано в сборнике *Paleobiological Revolution* под редакцией Сепкоски и Рьюза.

База данных Сепкоски: Sepkoski Jr., J. *John A Compendium of Fossil Marine Animal Genera // Bulletins of American Paleontology*, 364 (Ithaca, N. Y.: Paleontological Research Institution, 2002), <http://strata.geology.wisc.edu/jack/>.

В этой базе отражены многие тенденции развития жизни в океанах. Подробнее об этих тенденциях можно узнать из следующих работ: Sepkoski Jr., J. J. *Patterns of Phanerozoic Extinction: A Perspective from Global Data Bases / In: Global Events and Event Stratigraphy*. Walliser, O. H., ed. Berlin: Springer, 1996, 35–51; Raup, D. M., and J. J. Sepkoski Jr. *Mass Extinctions in the Marine Fossil Record // Science* 215 (1995): 1501–1503; Raup, D. M., and J. J. Sepkoski Jr. *Periodicity of Extinctions in the Geologic Past // PNAS* 81 (1984): 801–805.

Работы Дэвида Яблонски стали предметом обсуждения в замечательной статье Дэвида Куаммена *The Weeds Shall Inherit the Earth* (*Independent*, November 22, 1998, 30–39). Оригинальные статьи Яблонски, использованные в этой статье: Jablonski, D. *Heritability at the Species Level: Analysis of Geographic Ranges of Cretaceous Mollusks // Science* 238 (1987): 360–363; Jablonski, D., and G. Hunt *Larval Ecology, Geographic Range, and Species Survivorship in Cretaceous Mollusks: Organismic vs. Species-Level Explanations // American Naturalist* 168 (2006): 556–564; Jablonski, D. *Extinction and the Spatial Dynamics of*

Biodiversity // PNAS 105, no. S1 (2008): 11528–11535; Jablonski, D. Lessons from the Past: Evolutionary Impacts of Mass Extinctions // PNAS 98 (2001): 5393–5398.

Вот одна из новейших работ, посвященных корреляции между ростом разнообразия млекопитающих и экологическим вакуумом, возникшим после массового вымирания в конце мелового периода: Meredith, R. W., et al. Impacts of the Cretaceous Terrestrial Revolution and KPg Extinction on Mammal Diversification // Science 334 (2010): 521–524.  
/-- Глава 8. То в жар, то в холод --/

Знаменитый полет Пола Гаджа над Арктикой описан в статье Unearthing a Fossil Forest в журнале “Тайм” от 22 сентября 1986 года. Среди оригинальных работ по данной теме можно назвать следующие: Basinger,

J. F. Early Tertiary Floristics and Paleoclimate in the Very High Latitudes // American Journal of Botany 76, no. S6 (1989): 158; Basinger, J. F. The Fossil Forests of the Buchanan Lake Formation (Early Tertiary), Axel Heiberg Island, Canadian Arctic Archipelago: Preliminary Floristics and Paleoclimate/ In: Tertiary Fossil Forests of the Geodetic Hills, Axel Heiberg Island, Arctic Archipelago // Geological Survey of Canada Bulletin no. 403. Christie, R. L., and N. J. McMillan, eds. Ottawa: Geological Survey of Canada, 1991, 39–65; Greenwood, D. R., and J. F. Basinger The Paleocology of High-Latitude Eocene Swamp Forests from Axel Heiberg Island, Canadian High Arctic // Review of Palaeobotany and Palynology 81, no. 1 (1994): 83–97; Greenwood, D. R., and J. F. Basinger Stratigraphy and Floristics of Eocene Swamp Forests from Axel Heiberg Island, Canadian Arctic Archipelago // Canadian Journal of Earth Sciences 30, no. 9 (1992): 1914–1923; Lepage, B. A., and J. F. Basinger Early Tertiary Larix from the Buchanan Lake Formation, Canadian Arctic Archipelago, and a Consideration of the Phytogeography of the Genus / In: Tertiary Fossil Forests of the Geodetic Hills, Axel Heiberg Island, Arctic Archipelago // Geological Survey of Canada Bulletin no. 403. Christie, R. L., and N. J. McMillan, eds. Ottawa: Geological Survey of Canada, 1991, 67–82.

Открытие Колберта в Антарктиде также обсуждалось в прессе. См., например, статью New Life for Gondwanaland в журнале Time от 22 марта 1968 года. Услышать рассказ самого Колберта о его работе в Антарктиде можно здесь: <http://www.youtube.com/watch?v=UNe5SGkQP7Q>. Обнаружение листрозавров в Антарктиде описано в статье: Colbert, E. Lystrosaurus from Antarctica // American Museum Novitates 2535 (1974): 1–44.

Парадокс “слабого Солнца” (закрывающийся в том, что изменение температуры на Земле не коррелирует с изменением температуры Солнца) впервые был поднят в статье: Sagan, C., and G. Mullen Earth and Mars: Evolution of Atmospheres and Surface Temperatures // Science 177 (1972): 52–56.

Классические работы об углероде, атмосфере и климате, включая труды Аррениуса 1896 года, собраны и прокомментированы в книге: Archer, D. and R. Pierrehumbert, eds. The Warming Papers Hoboken, N. J.: Wiley – Blackwell, 2011.

Знаменитая статья BLaG: Berner, R. A., Lasaga, A. C. and R. M. Garrels The Carbonate-Silicate Geochemical Cycle and Its Effect on Atmospheric Carbon Dioxide over the Past 100 Million Years // American Journal of Science 283 (1983): 451–473. Вот одна из важных предшествовавших ей работ (в науке таких предшественников обычно бывает много): Walker, J. C. G., Hays, P. B., and J. F. Kasting A Negative Feedback Mechanism for the Long-Term Stabilization of Earth’s Surface Temperature // Journal of Geophysical Research 86 (1981): 9776–9782. Усовершенствованная модель: Berner, R. A., and Z. Kothavala Geocarb III: A Revised Model of Atmospheric CO over Phanerozoic Time // American Journal of Science

301 (2001): 182–204.

Морин Раймо и ее соавторы открыли дебаты по данной теме, опубликовав следующие статьи: Raymo, M. E., Ruddiman, W. F., and P. N. Froelich Influence of Late Cenozoic Mountain Building on Ocean Geochemical Cycles // *Geology* 16 (1988): 649–653; Raymo, M. E., and W. F. Ruddiman Tectonic Forcing of Late Cenozoic Climate // *Nature* 359 (1992): 117–122; Raymo, M. E. The Himalayas, Organic Carbon Burial, and Climate in the Miocene // *Paleoceanography* 9 (1994): 399–404. Эта идея имеет очень глубокие корни и отчасти опирается на работы Чемберлена: Chamberlin, T. C. An Attempt to Frame a Working Hypothesis of the Cause of Glacial Periods on an Atmospheric Basis // *Journal of Geology* 7 (1899): 545–584, 667–685, 751–787. Полезно также ознакомиться с комментариями Раймо в статье: Raymo, M. E. Geochemical Evidence Supporting T.C. Chamberlin's Theory of Glaciation // *Geology* 19 (1991): 344–347. В качестве общего обзора по теме рекомендую книгу: Ruddiman, W. F., ed. *Tectonic Uplift and Climate Change*. New York: Plenum Press, 1997. Полезна и следующая статья: Zachos, J. C., and L. R. Kump Carbon Cycle Feedbacks and the Initiation of Antarctic Glaciation in the Earliest Oligocene // *Global and Planetary Change* 47 (2005): 51–66. Среди новых работ, в которых совершается попытка соединить доказательства разного рода, могу назвать статью: Garzione, C. Surface Uplift of Tibet and Cenozoic Global Cooling // *Geology* 36 (2008): 1003–1004. Геохимические аспекты гипотезы Раймо обсуждаются в статье: McCauley, S. E., and D. DePaolo The Marine Sr/ Sr and d O Records, Himalayan Alkalinity Fluxes and Cenozoic Climate Models / In: Ruddiman, W. F., ed. *Tectonic Uplift and Climate Change*. New York: Plenum Press, 1997, 428–465.

Классическая работа об изменении уровня углекислого газа со временем: Berner, R. A. Atmospheric Carbon Dioxide Levels over Phanerozoic Time // *Science* 249, no. 4975 (1990): 1382–1386.

Сорок пять миллионов лет назад закончился жаркий период, названный палеоцен-эоценовым температурным максимумом. Изучением растительности того времени, уровня углекислого газа и других факторов занимались многие ученые. В качестве введения в данную проблему советую следующие работы: McInerney, F. A., and S. L. Wing

The Paleocene-Eocene Thermal Maximum: A Perturbation of Carbon Cycle, Climate, and Biosphere with Implications for the Future // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 39 (2011): 489–516; Sluijs, A., et al. Subtropical Arctic Ocean Temperatures During the Palaeocene/Eocene Thermal Maximum // *Nature* 441 (2006): 610–613; Zachos, J. C., et al. A Transient Rise in Tropical Sea Surface Temperature During the Paleocene-Eocene Thermal Maximum // *Science* 302 (2003): 1151–1154; Kennett, J. P., and L. D. Stott Abrupt Deep-Sea Warming, Palaeoceanographic Changes, and Benthic Extinctions at the End of the Palaeocene // *Nature* 353 (1991): 225–229; Wing, S. L., et al. Coordinated Sedimentary and Biotic Change During the Paleocene-Eocene Thermal Maximum in the Bighorn Basin, Wyoming, USA / Conference Programme and Abstracts: CBEP 2009, Climatic and Biotic Events of the Paleogene, 12–15 January 2009, Wellington, New Zealand. Strong, C. P., Crouch, Erica M. and C. J. Hollis, eds. Lower Hutt, N. Z.: Institute of Geological and Nuclear Sciences, 2009, 156–162.

О влиянии новых океанических течений на климат Антарктиды см. статью: Kennett, J. P. Cenozoic Evolution of Antarctic Glaciation, the Circum-Antarctic Ocean, and Their Impact on Global Paleoceanography // *Journal of Geophysical Research* 82 (1977): 3843–3860. Время похолодания в Антарктиде и его связь с океаническими течениями обсуждаются в статье: Anderson, J., et al. Progressive Cenozoic Cooling and the Demise of Antarctica's Last Refugium

// PNAS 108 (2011): 11356–11360.

Статьи Домини о цветовом зрении и рационе питания приматов: Dominy, N., and P. W. Lucas Ecological Importance of Trichromatic Vision to Primates // *Nature* 410 (2001): 363–366; Dominy, N. Fruits, Fingers, and Fermentation: The Sensory Cues Available to Foraging Primates // *Integrative and Comparative Biology* 44 (2004): 295–303; Dominy, N., and P. W. Lucas Significance of Color, Calories, and Climate to the Visual Ecology of Catarrhines // *American Journal of Primatology* 62 (2004): 189–207.

Переносной аналитический набор, разработанный Домини с коллегами, описан в статье: Lucas, P. W., et al. Field Kit to Characterize Physical, Chemical, and Spatial Aspects of Potential Primate Foods // *Folia Primatologica* 72, no. 1 (2001): 11–25.

//-- Глава 9. Голые факты --//

История проекта Iceworm и Кэмп-Сенчури описана в статье: Weiss, E. D. Cold War Under the Ice: The Army's Bid for a Long-Range Nuclear Role, 1959–1963 // *Journal of Cold War Studies* 3, no. 3 (Fall 2001): 31–58.

Изучение причин наступления ледниковых периодов и следов климатических изменений, запечатленных в толще льда, описано в нескольких замечательных научных книгах: Imbrie, J., and K. P. Imbrie *Ice Ages: Solving the Mystery*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1986; Alley, R. B. *The Two-Mile Time Machine: Ice Cores, Abrupt Climate Change, and Our Future*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 2002; Macdougall, D. *Frozen Earth: The Once and Future Story of Ice Ages*. Berkeley: University of California Press, 2006. Все эти три труда обладают лучшими качествами научной литературы: они авторитетны, интересны и содержат обширный список литературы по теме. Тщательное изучение кернов льда, описанное в книге *Two-Mile Time Machine*, позволило обнаружить ряд климатических циклов и событий в океанах, каждое из которых получило собственное название: цикл Дансгора – Эшгера, цикл Бонда, события Гейнриха и циклы Макейела. В соответствии с изменениями ледников, океанических течений и ветров климат может изменяться в широких пределах. Мы не имеем пока полного представления о связи этих глобальных процессов.

О влиянии ледниковых периодов на историю человечества рассказывает книга: Fagan, B. *The Little Ice Age: How Climate Made History, 1300–1850*. New York: Basic Books, 2001. А вот замечательный рассказ о том, как ледниковые периоды изменили пейзаж планеты: Pielou, E. C. *After the Ice Age: The Return of Life to Glaciated North America*. Chicago, University of Chicago Press, 1991.

Работы Либби и Юри обсуждаются в замечательной книге: Macdougall, Doug *Nature's Clocks: How Scientists Measure the Age of Almost Everything*. Berkeley: University of California Press, 2008.

О Дороти Гэррод можно прочесть в статье: Smith, P. J. Dorothy Garrod as the First Woman Professor at Cambridge University // *Antiquity* 74 (2000): 131–136.

Роль климатических изменений и натуфийской культуры в появлении земледелия продолжает оставаться предметом научных споров. Классическая точка зрения изложена в статьях: Bar-Yosef, O. The Natufian Culture in the Levant, Threshold to the Origins of Agriculture // *Evolutionary Anthropology* 6, no. 5 (1998): 159–177; Bar-Yosef, O., and A. Belfer-Cohen *The Origins of Sedentism and Farming Communities in the Levant* // *Journal of World Prehistory* 3 (1989): 447–498. Другие мнения на этот счет, включая противоположные, обсуждаются в статье: Balter, M. The Tangled Roots of Agriculture // *Science* 327 (2010): 404–406.

О влиянии рациона питания на геном человека и особенно о роли перехода к земледелию говорится в книге: Wells, S. *Pandora's Seed: The Unforeseen Cost of Civilization*. New York: Random House, 2010. Знаменитая статья о действии отбора на человеческий геном: Voight, B. F., Kudaravalli, S., Wen, X. and J. K. Pritchard *A Map of Recent Positive Selection in the Human Genome* // *PLoS Biology* 4, no. 3 (2006). Я также советую статью: Sabetiet, P., al. *Genome-wide Detection and Characterization of Positive Selection in Human Populations* // *Nature* (2007): 913–988; Wilson, D. J., et al. *A Population Genetics-Phylogenetic Approach to Inferring Natural Selection in Coding Sequences* // *PLoS Genetics* 7, no. 12 (2011).  
/-- Глава 10. Матери изобретений --//

Роль климатических изменений в происхождении и ранней эволюции человека и его ближайших родственников обсуждалась на конференции на эту тему: *Understanding Climate's Influence on Human Evolution*. Washington, D. C.: National Academies Press, 2010. В этом сборнике множество работ об изучении климата. Советую также ознакомиться со статьей: Cerling, T. E., et al. *Woody Cover and Hominin Environments in the Past 6 Million Years* // *Nature* 476 (2011): 51–56.

Обнаруженные в Чаде окаменелые остатки гоминид описаны в статье: Brunet, M. *A New Hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa* // *Nature* 418 (2002): 145–151; Brunet, M., et al. *New Material of the Earliest Hominid from the Upper Miocene of Chad* // *Nature* 434 (2005): 752–755. Новейшие данные о прямохождении предков человека, обитавших в Кении, представлены в статье: Richmond, B., et al. *Orrorin tugenensis Femoral Morphology and the Evolution of Hominin Bipedalism* // *Science* 319, no. 5870 (2008): 1662–1665. Общую информацию об ископаемых предках человека можно найти в следующих книгах: Gibbons, A. *The First Human*. New York: Doubleday, 2006; Johanson, D. C., and K. Wong *Lucy's Legacy: The Quest for Human Origins*. New York: Harmony Books, 2009.

Идеи Роберта Мертона об авторстве изобретений отразились в статьях: Merton, R. K. *Singletons and Multiples in Scientific Discovery: A Chapter in the Sociology of Science* // *Proceedings of the American Philosophical Society* 105, no. 5 (1961): 470–486; Merton, R. K. *Priorities in Scientific Discovery: A Chapter in the Sociology of Science* // *American Sociological Review* 22, no. 6 (1957): 635–659.

О законе Стиглера можно прочитать в работе: Stigler, S. *Stigler's Law of Eponymy* / In: *Science and Social Structure: A Festschrift for Robert K. Merton*. Gieryn, T. F., ed. New York: New York Academy of Sciences, 1980, 147–158.

О влиянии растений на развитие жизни на планете можно узнать из книг: Beerling, D. *The Emerald Planet: How Plants Changed Earth's History*. Oxford: Oxford University Press, 2007; Burger, W. C. *Flowers: How They Changed the World*. Amherst, N. Y.: Prometheus Books, 2006.

Статья Стивена Стирнса о действии отбора на современных людей: Stearns, S. C., et al. *Measuring Selection in Contemporary Human Populations* // *Nature Reviews Genetics* 11 (2010): 611–622.

## **Благодарности**

Мое желание проникнуть в мир науки проистекло от просмотра телепередач о полетах кораблей “Аполлон”, от походов по музеям естественной истории и от чтения книг таких писателей, как Карл Саган и Джейкоб Броновский. Пока я рос, мои родители Сеймур и

Глория Шубин поддерживали все мои сиюминутные увлечения – от коллекционирования камней и черепков до изучения телескопов и метеоритов – и не задавали никаких вопросов. Они поощряли мое любопытство, позволив ему перерасти в любопытство ученого.

Каллиопи Монойос, выполнившая иллюстрации в данной книге, обладает всеми теми качествами, которых вы ждете от иллюстратора научных книг: она является специалистом в области естественных наук, обладает острым и критическим взглядом и способностью к творчеству. Она помогла мне передать сложные идеи в виде простых образов. Мне повезло, что она работала последние одиннадцать лет в нашей лаборатории. Теперь она открыла собственную студию. С ее работами можно ознакомиться на сайтах: [www.kalliorimonoyios.com](http://www.kalliorimonoyios.com) и [blogs.scientificamerican.com/symbiartic](http://blogs.scientificamerican.com/symbiartic).

Мне повезло участвовать в экспедициях с такими замечательными людьми, как Фариш А. Дженкинс-младший, Билл Эймерал, Пол Олсен, Тед Дешлер, Джейсон Доунс, Чак Шафф. Один из приятных аспектов работы над книгой заключался в возвращении в памяти к тем замечательным моментам, которые мы пережили вместе во время экспедиций в Гренландию, Марокко, Канаду и на остров Элсмир.

Я благодарю всех бывших и нынешних сотрудников моей лаборатории, помогавших мне и терпевших меня в процессе работы над книгой: Рэнди Дана, Маркуса Дэвиса, Адама Франссена, Надю Фребиш, Эндрю Джерка, Эндрю Жиллиса, Кристиана Каммерера, Жюстин Лемберг, Капи Монойос, Джойс Пьеретти, Игоря Шнейдера, Беки Ширман, Наталию Тафт и Джона Вестланда.

За советы, комментарии и ответы на вопросы я благодарю Билла Эймерала, Джеймса Баллока, Робина Кенапа, Шона Кэрролла, Майкла Коатеса, Анну Ди Ренцо, Джона Флинна, Дэвида Гозала, Лэнса Гранде, Дэвида Яблонски, Сьюзен Кидуэлл, Энди Нолла, Майкла Лабербера, Дэна Либермана, Дэниеля Марголиша, Пола Олсена, Кевина Райтера, Каллума Росса, Дэвида Роули, Пола Серено, Майкла Тернера, Марка Вебстера и Майка Юнга. Елена Скози-Лейлонд помогала мне проверять информацию во время летних каникул в Чикагском университете. Фред Сиесла терпеливо отвечал на вопросы о происхождении планеты, когда по утрам мы вели в детский сад дочерей. Нэт Домини поделился со мной воспоминаниями о своей работе в Уганде. Лоуренс Краусс любезно согласился рассказать о Большом взрыве и образовании звезд, чем спас меня от неприятных ошибок. Сеймур Шубин, Майкл Сейдл, Каллиопи Монойос, Эндрю Джерк, Джойс Пьеретти и Джон Вестланд прочли и прокомментировали рукопись книги. Я очень благодарен им. За оставшиеся в тексте ошибки ответственность несу я.

Некоторые затронутые в книге вопросы возникли в ходе моего общения со студентами. Студенты-первокурсники из Университета Монтаны, Университета Пенсильвании и колледжа Скидмор – не только благодарные, но и очень заинтересованные слушатели, вопросы которых вдохновляли меня во время работы над книгой. То же относится и к учащимся многих школ, включая школу им. Эдлая Э. Стивенсона, школу Доунерс-Гроув-Норт, школу им. Фрэнсиса У. Паркера и экспериментальную школу при Чикагском университете. Некоторые из изложенных в книге идей я также обсуждал со студентами на факультативе в Чикагском университете.

Постоянную поддержку в работе мне оказывали мои агенты Катинка Мэтсон, Джон Брокман, Макс Брокман и Рассел Вейнбергер. Дэн Франк и Марти Эшер образовали мощную редакторскую группу, помогая мне довести до конца работу над текстом. Джилл Верильо и Эллен Фельдман при помощи Ингрид Стернер, Терезы Гардштейн и Дженны



Баньини, приложив героические усилия, подготовили рукопись к изданию. Мне было очень приятно работать со всей группой из издательства “Пантеон”.

Моя жена Мишель выдерживала мои исчезновения из дому по выходным и бесконечные рассуждения о “компьютерах Гарварда”, Мэри Тарп и цирконе. Она прочла бесчисленные варианты всех глав, включая те, что в итоге оказались в корзине. Ее терпение, ум и любовь позволили мне осуществить задуманное. Мишель и наши дети Ханна и Натаниэль – мои глубокие связи с Вселенной, которым я не устаю радоваться каждый день.

## **Иллюстрации**

Все рисунки, не перечисленные ниже, выполнила Каллиопа Монойос.

18 Члены гренландской экспедиции. Фотографии предоставлены Биллом Эймералом. Печатается с разрешения.

32 “Живые компьютеры Гарварда” (1913). Фотография предоставлена Гарвардской обсерваторией. Печатается с разрешения.

51 Фотография Беты Живописца предоставлена Европейской южной обсерваторией. Печатается согласно лицензии: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>.

63 Фотография каньона Зайон выполнена Джорджем Александром Грантом для Службы национальных парков (не является объектом авторского права). Фотография кратера Виктория на Марсе – НАСА, Лаборатория реактивного движения Калифорнийского технологического института, Корнелльский университет. Изображение не является объектом авторского права. 87 Портрет Сеймура Бензера предоставлен архивом Калифорнийского технологического института. Печатается с разрешения.

95 Фотографии надгробных памятников с кладбища в Хиндостане предоставлены Геологическим обществом штата Индиана. Печатаются с разрешения.

99 Портрет Элсо Баргхорна предоставлен архивом Гарвардского университета. Печатается с разрешения.

105 Портрет Антони ван Левенгука кисти Яна Верколье. Изображение не является объектом авторского права. Изображение микроскопа Левенгука предоставлено Майклом Дэвидсоном из Университета Флориды. Печатается с разрешения.

106 Портрет Галилео Галилея работы Доменико Крести по прозвищу Пассиньяно. Не является объектом авторского права. Рисунок Галилея (1638). Изображение не является объектом авторского права.

111 Портрет Престона Клауда любезно предоставлен Отделом особых коллекций Библиотеки им. Дэвидсона, Калифорнийский университет в Санта-Барбаре. Печатается с разрешения.

121 Фотография отпечатка листа *Glossopteris* предоставлена Шведским музеем естественной истории. Фотограф Ивонн Арремо. Печатается с разрешения.

123 Портрет Альфреда Вегенера предоставлен Институтом им. Альфреда Вегенера в Германии. Печатается с разрешения.

126 Портрет Гарри Гесса предоставлен факультетом геологии и геофизики Принстонского университета. Печатается с разрешения.

128 Фотография Брюса Хейзена и Мэри Тарп из архива Мэри Тарп, предоставлена Фионой Шиано-Якопина. Печатается с разрешения.

- 130 Карта Брюса Хейзена и Мэри Гарп. Выполнена Генрихом Беранном. Печатается с разрешения.
- 136 Портрет Джона Т. Уилсона предоставлен Научным центром Онтарио ([www.ontariosciencescentre.ca](http://www.ontariosciencescentre.ca)). Печатается с разрешения.
- 144 Скалы Новой Шотландии. Фотографии автора.
- 146 Уильям Смит. Портрет Хьюго Фуру. Не является объектом авторского права. Фотография Джона Филипса (1907). Не является объектом авторского права. Карта Смита (1815). Изображение не является объектом авторского права.
- 166 Фотография ископаемого леса (автор – Лин Энглин) предоставлена Геологической службой Канады и воспроизводится с разрешения Министерства природных ресурсов Канады (2011). Фотография окаменелой древесины взята из статьи: Kaelin et al. Comparison of Vitriified and Unvitriified Eocene Woody Tissues by TMAH Thermochemolysis – Implications for the Early Stages of the Formation of Vitrinite // *Geochemical Transactions* 7 (2006): 9. Печатается согласно лицензии: <http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>.
- 185 Фотографии Кэмп-Сенчури из статьи Kovacs, A. Camp Century Revisited: A Pictorial View 1969 // *Cold Regions Research and Engineering Laboratory Special Report* 150 (July 1970): 44, 49. Изображение не является объектом авторского права.
- 188 Фотография Луи Агассиса (ок. 1860 г.). Изображение не является объектом авторского права.
- 191 Портрет Джеймса Кролла (автор неизвестен), опубликованный в журнале *Popular Science Monthly* 51 (August 1897): 445. Изображение не является объектом авторского права.
- 193 Портрет Милутина Миланковича работы Павла (Паи) Йовановича (1859–1957). Изображение не является объектом авторского права.
- 205 Фотография Дороти Гэррод предоставлена г-жой Кеннеди Шоу и ее дочерью г-жой Каролиной Беркитт. Фотография принадлежит Памеле Джейн Смит и воспроизводится с ее разрешения.

## **Предметно-именной указатель**

- Австралия 118  
и континентальный дрейф 122, 123, 137, 167, 176  
хребет Джек-Хиллс 54, 56, 229  
Агассис, Жан Луи Родольф 186–190, 191, 201  
азот 72  
Аксель-Хейберг, остров 164  
Акуля бухта (Австралия) 55  
алкоголь 207  
аллометрия 234  
Альварес, Луис Уолтер 154–155, 158  
Альварес, Уолтер 154–155, 158  
Амундсен, Руаль Энгельбрегт Гравнинг 122, 176  
Андерс, Уильям Элисон 62  
Антарктида 122, 123, 166, 167–168, 175–176, 177, 182, 202, 239, 241  
“Аполлон”, космическая программа 53, 62, 63, 245

Аппалачи 135  
аргон 77, 229  
Аррениус, Сванте Август 169–170, 173, 240  
астероиды 25, 50, 62, 67, 73, 154  
последствия их соударения с Землей 155, 158, 161, 237  
присутствие воды 60, 229  
астрономия 36–37, 74–75  
измерение расстояний 33, 34  
красное смещение 50  
“живые компьютеры Гарварда” 31–33, 247  
также см. звезды  
Атлантический океан 128, 135, 139, 140, 142, 176, 177  
Атласские горы 215  
атомное ядро 39, 40, 41, 42  
нейтроны 72, 196, 197, 228  
протоны 43, 196, 228  
термоядерный синтез 41, 43, 45  
также с м. к кислород; углерод  
Африка 112, 124, 135, 138, 176, 210, 215  
образование рифта 22, 123, 141, 209, 210  
конгруэнтность с Южной Америкой 119  
поиски окаменелостей 61, 162–163, 166, 167  
ископаемые гоминиды 210, 244  
бактерии 77, 100, 104, 114  
Барбур, Томас 101, 102, 234  
Баргхорн, Элсо Стерренберг 99, 100, 112, 232, 233  
Бейсингер, Джеймс Ф. 165  
белки 29, 30, 58, 89, 91, 110, 114, 178, 181  
Бензер, Сеймур 87–88, 90, 91, 230, 231  
берберы 216  
Бернер, Роберт Арбакл 173  
Бета Живописца 51, 52  
биологические “часы” 80–83, 85, 88, 89–94, 95  
молекулярный механизм 76–77, 78  
также см. суточный (циркадный) ритм  
Бирдмора ледник (Антарктида) 122  
Бленфорд, Уильям 119, 120  
Бленфорд, Генри 119, 120  
Большого взрыва теория 12, 35–36, 38–41, 46, 48, 60, 214, 222, 226, 246  
Большой Каньон (США) 151  
Борлоуг, Норман Эрнест 220  
Бауэрс, Генри Робертсон 122  
Бонапарт, Наполеон 199  
Брейзир, Мартин 233  
Британский музей 122  
Бэкон, Фрэнсис 212, 213

Вавилон 76  
Вегенер, Альфред Лотар 122–123, 124, 129, 131, 133, 134, 137, 236, 249  
Вайн, Фредерик 132, 133  
Великобритания 76, 146, 147, 177  
Венера 62, 192  
атмосфера 64  
потеря жидкой воды 65–66, 70  
фазы 63  
характеристики 52, 63–64, 65, 169  
космическая программа “Маринер” 64  
космическая программа “Пионер” 65  
“Венера”, космическая программа 64–65  
Вент, Фритс Вармолт 108, 235  
вода 40, 56, 67, 68, 71, 79, 101, 104, 107–108, 113–114, 118, 143, 163, 172, 183, 188, 198, 201, 214, 235  
строение молекулы 58  
молекулярные взаимодействия 107–108  
содержание кислорода 115, 140, 197  
агрегатные состояния 58–59, 172  
как растворитель 58  
приливы и отливы 95, 96  
кислотные дожди 71, 170, 171, 172  
и эрозия 54, 59, 151, 200  
в человеческом теле 56, 57  
на кометах, астероидах и других небесных телах 65–66, 60–61, 66, 66, 70, 169, 229–230  
водород 27, 40, 41, 65, 72  
после Большого взрыва 39, 46  
как солнечное топливо 30, 43, 70  
в молекуле воды 58  
водородная бомба 41–42  
водоросли 11, 12, 99, 100, 104, 113, 214, 221, 233  
сине-зеленые (цианобактерии) 112, 114  
водяные часы 76  
Вторая мировая война 125, 126, 127, 130, 152, 195, 196  
времена года 76, 81, 195  
время  
геологическое 157  
измерение 75–76, 80, 137  
год 75, 76  
сутки 74–75, 81  
восприятие 81–83  
также с м. б. биологические “часы”; календарь; суточный (циркадный) ритм  
Вселенная 11, 14, 28, 30, 37, 46, 49, 52, 60, 62, 63, 105, 192, 197, 221, 222, 247  
возраст 12, 26, 27

расширение 35, 36  
охлаждение 38–39, 40, 41  
размеры 33–34, 43  
также с м. а астрономия; Большого взрыва теория  
Вудсхоулская конференция (1972) 156–157  
вымирание 149–150, 237  
в конце мелового периода 157–158, 239  
в Антарктиде 168  
млекопитающих в ледниковый период 150  
галактики 11, 30, 33, 34, 37, 41, 45, 47, 48, 221 также см. Млечный  
Путь (Галактика); туманности  
Галилео, Галилей 63, 104, 105, 106, 107, 108, 233, 249  
гамма-излучение 50  
Гарвардский университет 75  
обсерватория 31–33  
Музей сравнительной зоологии 99, 101, 187  
Гаррелс, Роберт Минард 173  
гелий 27–28, 40, 41, 43–44, 50  
и Большой взрыв 39  
геном 69, 109–110, 243  
гены  
и естественный отбор 206–207, 218, 243, 244  
и рацион питания человека 207, 243  
контроль роста 116, 235  
пигментации 207  
сон и бодрствование 89–91  
и цветовое зрение 181  
также см. белки; ДНК; мутации генетические  
геологические слои 17, 223  
присутствие иридия 154–155  
и распределение окаменелостей 135, 167, 176, 168, 239  
в Новой Шотландии 23, 143–144  
в Талчере 119  
геологические эпохи 16–17, 148, 154, 158, 163, 181, 189, 190–191, 192, 195, 198, 199, 200,  
201, 202, 203, 210, 213, 232, 233, 237, 239, 242  
геопоззия 131, 132, 133, 134  
Гесс, Гарри Хаммонд 125, 126, 130, 131, 132, 133, 134, 171, 249  
Гималаи 174  
глоссоптерис 120–122, 124  
головной мозг 25, 30, 56, 80, 83, 95, 178, 208, 209, 211, 217, 220, 221  
и размеры тела 108  
клетки Рихтера 85, 90, 92  
шишковидная железа 92–93  
гоминиды 208–209, 244  
гравитация 38, 40, 41, 42, 43, 49, 62, 67, 68, 74, 107, 109, 217 также  
см. Земля; Луна; Солнечная система; Солнце; Юпитер

Гренландия 183, 209, 215, 246  
ледники 184, 201, 202  
отложения триасового периода 16–17, 22–24, 137–138, 223  
окаменелости 16, 25, 225  
исследования Вегенера 122  
военная база Кэмп-Сенчури 184–186  
также см. керна  
Григорий XIII, папа римский 75–76  
Грино, Джордж Беллас 147  
Гулд, Стивен Джей 156, 157, 233, 234  
Гумбольдт, Фридрих Вильгельм Генрих Александр фон 179  
Гэррод, Дороти 204, 205, 206, 243, 250  
Дания 219  
Дансгор, Вилли 200–201, 202, 242  
Дарвин, Чарльз Роберт 37, 98, 211, 212, 218  
Дарлингтон, Филип Джексон 101, 102, 107, 234  
Де Вито, Дэниел Майкл 62  
девонский период 213  
Декарт, Рене 92  
Джемс, Уильям 215  
Джек-Хиллс, хребет 54, 56, 229  
Дженкинс, Фариш А. 14, 16, 17, 18, 20, 21, 24, 162, 163, 215, 216, 223  
Джефферсон, Томас 150  
динозавры 17, 22, 24, 64, 145, 148, 154, 163, 168, 225  
вымирание 157–158  
ДНК 11, 12, 29, 87, 89, 91, 95, 115, 206–207, 217, 220, 232  
в молекулярных “часах” 76–78  
и цветовое зрение 181  
коррекция ошибок 93–94  
коренных американцев 203  
также см. гены; мутации генетические  
Докинз, Клинтон Ричард 226  
Домини, Натаниэль Дж. 180–181, 241, 242  
дрозофилы 67, 88, 89–90, 91, 166, 235  
Европа, спутник Юпитера 70  
Европа 124, 135, 138, 150, 189, 201, 203  
естественный отбор 206, 207, 211, 218–219, 243, 244  
железо 44–45  
ржавление 112  
руда 110, 111, 114  
животные, географическое распространение 101, 161, 210  
звезды  
расстояния 33–34, 37, 43, 72, 104  
и газовые облака 33–34, 41, 43, 48–49  
и пылевые облака 51, 52  
образование 43



накопление железа 44–45  
тяжелые элементы 44, 45, 46  
цвет и размер 32  
переменные 34  
сверхновые 45, 46  
наблюдение 30, 33, 34  
составление карт 31, 32, 50  
также с м. а астрономия; галактики; гамма-излучение;  
инфракрасное излучение; Млечный Путь (Галактика);  
туманности; ультрафиолетовое излучение  
“зеленая революция” 220  
земледелие 206  
землетрясения 130, 131, 137  
Земля  
образование 34, 61, 227–228  
влияние Юпитера 67–69  
орбита 194–195  
вращение 74, 75, 79, 96, 200, 207  
наклон оси 74, 75, 200  
прецессия 194, 195  
столкновение с астероидом 73–74  
древняя 54, 55, 71, 97, 112, 113–114  
тепловой баланс 174, 202  
также с м. о каменелости; Солнечная система; Солнце  
Зюсс, Эдуард 120–122, 236  
ивы арктические 165  
изобретения и открытия 216–217, 218, 221, 244 также см. Мертон,  
Роберт  
Индостан, полуостров 119, 120, 122, 123, 124, 137, 167, 175, 182  
инфракрасное излучение 50, 178  
иридий 154–155  
Йельский университет 22, 152  
кайнозойская эра 148  
календарь  
природный 78  
лунный и солнечный 75  
его децентрализация у римлян 74  
юлианский 75  
грегорианский 75–76  
Калифорнийский университет (Беркли) 42  
кальция карбонат 198  
каменные орудия 211, 216, 221  
Канада 61, 78, 131, 133, 135, 138, 144, 164, 246  
Кант, Иммануил 49, 53, 68, 227  
карты  
океанического дна 272, 125, 127, 129, 130, 139, 176

звездного неба 31, 32,50  
геологические 16–17, 19, 110, 145–146, 147, 148  
катастрофы глобальные 14, 74, 95, 97, 163  
как причина исчезновения видов 153, 157, 158  
выживание 158, 160–162  
механизм 155–156  
теория 150–151, 154  
квантовая механика 38  
керны  
льда 202, 242  
морского дна 139, 140, 176  
Кибале, национальный парк 179–180  
кислород 27, 28, 30, 40, 44, 56, 58, 60, 71, 118, 201, 203, 236  
изотопы 72, 140, 197, 198, 199  
атмосферный 112, 117, 139, 140, 141, 145, 233–234  
источники 112–114, 233  
физиологическая роль 109, 115, 142  
опасность 115, 235  
кислотные дожди 71, 170, 171, 172  
киты 77–78  
Клауд, Престон Эрсель 110, 111, 114, 115, 117, 235  
климатические изменения 25, 111, 175, 182, 191, 199, 200, 201, 203,  
204, 206, 207, 210, 242, 243 также см. ледниковые периоды  
кобальт 27, 45  
Койпера пояс 230  
Колберт, Эдвин Харрис 165, 166, 167, 168, 176, 225, 239  
Колумбийский университет 127, 133, 134, 143  
кометы 50, 67  
как источники воды 60, 61, 229  
Хейла – Боппа 60, 229  
Хартли-2 60, 229  
Конопка, Рональд 87–88, 89, 90, 91  
континентальный дрейф 134, 154, 214, 235, 236  
древнего суперконтинента 123, 140, 176  
закрытие и открытие Атлантического океана 135, 139, 140, 142  
конвейерное движение коры 131, 132  
спрединг (расширение) океанического дна 137, 177  
и землетрясения 130, 131, 137  
скорость 137  
глубоководные котловины 131, 132  
подводные горные хребты и рифты 129, 134, 137, 142, 176  
и распределение окаменелостей 124, 135, 138–139, 166–167  
в Южном полушарии 167  
также см. тектоника плит  
Коперник, Николай 75  
кораллы 78–79, 151

котловины глубоководные 131, 132  
Краусс, Лоуренс Максвелл 39, 246  
Крог, Шек Август Стинберг 114–115  
Кролл, Джеймс 190–192, 193, 194, 200  
Кэмп-Сенчури, военная база 184–186, 200, 207, 242  
Кювье, Жорж Леопольд Кретъен Фредерик Дагобер 149, 150, 151, 153, 156, 237  
Лабрадор, полуостров 177  
Лаплас, Пьер Симон 49, 53, 227  
Ласага, Антонио 173  
Левенгук, Антони ван 103–104, 105, 107, 108, 233  
ледники 13, 20, 59, 81, 122, 124, 169, 175, 184, 189, 202, 215  
ледниковые периоды 120, 189–190, 198–199, 201, 210, 242–243  
и изменение орбиты Земли 191–192, 195, 200  
изменения температуры 202, 203  
влияние на человеческую популяцию 204–206  
Лейбниц, Готфрид Вильгельм 212  
Леонардо да Винчи 145  
Либби, Уиллард Франк 196, 197, 243  
Ливитт, Генриетта Суон 31–33, 34, 37, 226  
листрозавры 167, 176, 239  
литий 39  
Национальная лаборатория им. Лоуренса 155  
Лукас, Питер У. 180  
Лулл, Ричард Сванн 22  
Луна 63, 71, 124  
происхождение 26, 72–73, 74, 97, 230  
грунт 71–72, 227  
кратеры 97  
присутствие воды 60  
влияние на приливы и отливы на Земле 96  
и календарь 75–76  
космическая программа “Аполлон” 53, 62, 64–65, 71  
мамонты 149, 150, 152, 204  
Манхэттен 22, 216  
“Манхэттенский проект” 195  
“Маринер”, космическая программа 64  
Марс 30, 52, 73, 192  
температура на поверхности планеты 169  
присутствие в прошлом жидкой воды 66–67  
песчаники 62, 63  
марсоход “Спирит” 62  
масса 38–39, 43, 67, 69, 107  
материя 12, 38, 40, 41, 97  
и антиматерия 39  
и энергия 43

гравитация 40–41, 42, 43, 49, 68, 109  
Маунт-Вильсон, обсерватория 33, 64  
межмолекулярное взаимодействие 40, 107, 109, 115  
мезозойская эра 148  
мелатонин 93  
меловой период 154, 158, 163, 237, 239  
Меркурий 52, 60–61, 230  
Мертон, Роберт 211, 212, 244  
“Мессенджер”, искусственный спутник Юпитера 60  
метеориты 30, 52–54, 66, 154–155, 155–156, 227, 245  
микробные сообщества 55  
Миланкович, Милутин 192–195, 199, 200, 202  
митохондрии 114  
млекопитающие 86, 90, 181  
гены, контролирующие размер тела 116  
затраты энергии 141–142  
признаки 24–25, 29, 57, 58, 77, 178, 236  
выживание в катастрофах 163–164, 238  
ископаемые 14, 15–16, 17, 24, 152, 163, 168, 204, 215, 225  
киты 77  
приматы 25, 178–179, 180, 181, 182, 208, 241  
Млечный Путь (Галактика) 25, 33, 34, 39, 52  
молекулы 28, 29, 30, 36, 37, 40, 107, 109, 110, 113, 114, 115, 198, 207, 226  
диффузия 109  
воды 58, 59, 60, 61  
молекулярные “часы” 88, 89, 91, 92, 230  
молоко 207  
Морли, Лоуренс Уитакер 133  
Мура закон 221  
мутации генетические 86, 116  
у дрозофил 87, 88, 89  
нарушения суточного (циркадного) ритма 90  
Мэтьюз, Драммонд 132, 133  
натурфилософия 48, 145, 149  
натуфийская культура 205–206, 211, 217, 243  
Национальная академия наук США 108, 187  
Национальное управление США по воздухоплаванию и исследованию космического пространства (НАСА)  
“Аполлон” 53, 62, 63, 245  
“Вояжер” 62, 63  
“Маринер” 64  
“Мессенджер” 60  
“Пионер” 65  
“Спирит” 62  
“Эхо-1” 35  
нейтроны 72, 196, 197, 228

Нептун 52  
Нобелевская премия 36, 86, 154, 169, 218  
Новая Шотландия, полуостров 23, 143, 144  
Ньютон, Исаак 49, 212  
Ньюэлл, Норман Деннис 152, 153, 156, 237  
обезьяны 178, 179, 180, 181, 208  
общая теория относительности 38  
окаменелости 57, 97, 134, 153, 157, 159, 209, 215, 221, 238  
поиски 13–14, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 25, 30, 36, 61–62, 79, 127, 143, 147, 162, 181, 223–224  
в геологических слоях 145, 147–148  
древнейшие 55, 77, 100–101, 109, 110, 233  
распределении по континентам 124, 135, 138–139, 166–167  
одинаковые в Аппалачах и в Европе 135, 139  
в Арктике 165–166, 168, 181, 165  
в Антарктиде 166–168, 175, 181  
в Гренландии 139, 209  
земноводные 166, 167, 168  
кораллы 78–79  
моллюски 152, 160  
растения 120–122  
также с м. геологические слои; гоминиды; динозавры;  
млекопитающие  
океанические течения 176, 177, 202, 210, 241, 242  
океаны 59, 60, 71, 79, 111, 114, 118, 122, 123, 158, 160, 162, 170–171, 174, 194, 202, 208, 214, 215, 221, 223, 229, 238  
структура дна 124, 125, 128–129  
подводные вулканы 113–114, 131  
в Южном полушарии 175–176  
керны дна 139, 140, 176  
также с м. Атлантический океан; вода; глубоководные котловины; континентальный дрейф; океанические течения;  
Тихий океан  
Олсен, Пол 143, 245, 246  
организм человека  
и влияние гравитации 68–69  
и кислород 27, 56, 115, 118, 142  
содержание воды 56  
составляющие его элементы 27  
аналогия с матрешкой 28–29  
клетки 11, 25, 28, 29, 40, 56, 74, 80, 91, 92, 109, 115, 116, 178, 214  
контроль роста 116  
температура 81  
метаболизм 28, 40, 56, 57, 114, 236  
внутриутробное развитие 57, 58, 86, 142  
воспроизводство 28, 56, 109, 160, 161

структура головы 56–57  
хождение на двух ногах (бипедализм) 208, 209, 210, 213  
цветовое зрение 178, 181  
печень 116  
почки 57–58, 81  
также см. приматы; эволюция  
Орион, созвездие 42  
Ориона Большая туманность 42–43

палеонтология 22, 36, 62, 78, 98, 100, 110, 127, 135, 149, 156, 157, 159,  
160, 161, 167, 208, 216, 223  
парниковый эффект 66, 70  
Пензиас, Арно Элан 35, 36, 170  
переменные звезды 34  
периодическая система химических элементов 39, 41, 44–45  
периферическое (боковое) зрение 30, 42  
песочные часы 76  
песчаник 13, 20, 22, 63, 143, 167, 215, 223  
пигментация кожи 207  
Пикеринг, Эдвард Чарльз 31, 32, 33  
“Пионер”, космическая программа 65  
питание 81, 83, 84, 85, 102, 109, 110, 179, 207, 216, 224, 243  
и цветовое зрение 178–181, 241  
планеты 11, 30, 33, 37, 41, 67  
плотные и газообразные 52  
образование 49  
присутствие воды 60  
также с м. Венера; Марс; Солнечная система; Солнце; спутники  
планет; Юпитер  
палеоцен-эоценовый температурный максимум 241  
полюса Земли 173, 178, 182, 202  
Северный 168, 189  
Южный 122, 166, 168, 177  
почки (внутренние органы) 57–58, 80  
приматы 25, 178–179, 180, 181, 182, 208, 241  
Принстонский университет 36, 125, 130  
Притчард, Джонатан К. 206  
протоны 43, 196, 228  
радиоактивный распад 39, 42, 53, 228–229  
радиоволны 35  
рак 93, 94, 116, 216, 232  
Ральф, Мартин 90, 91  
растения 97, 98–99, 110, 112, 118, 149, 201, 220, 244  
фотосинтез 214  
зависимость от высоты над уровнем моря 175  
ископаемые 98, 120–122, 153, 167, 175



одомашненные 206  
пищевая ценность 180–181  
расщепление ядра 42  
Раймо, Морин 173, 174, 200, 225, 240, 241  
римляне древние 67, 74  
Рихтер, Курт Пауль 83–84, 85, 90, 92, 230  
рыбы 11, 12, 29–30, 57, 171, 178, 213, 216  
бесчелюстные 57, 58  
жаберные кости 56–57  
костные 57–58  
шишковидная железа 93  
выход на сушу 15, 214  
Саган, Карл Эдвард 36–37, 168, 172–173, 222, 245  
Сан-Андреас, разлом 137  
Сатурн 52, 192  
Сведенборг, Эммануил 48, 49, 53, 68, 227  
сверхновые звезды 45, 46  
свет  
волновые свойства 34, 36  
сезонные колебания 75, 78  
скорость 38  
спектр длин волн 34–35, 50, 64, 178  
звезд 11, 30, 33, 34, 36–37  
искусственный 93  
влияние на пигментацию кожи 207  
свинец 53, 56, 60, 64, 77, 229  
Северная Америка 112, 137, 224, 225  
Аппалачи 135  
ледниковый период 204  
рифт 135, 138–139, 141  
динозавры 22, 225  
Северное полушарие 175  
седиментология 223  
сезонные аффективные расстройства 81  
Сепкоски, Дж. Джон 157, 158, 238  
сера 72  
Сифр, Мишель 81–83, 84, 230  
Скотт, Роберт Фолкон 122, 167, 176  
Смит, Уильям 145–148, 153, 237  
Советский Союз 65, 186  
созвездия 31, 42  
Солнечная система 11, 12, 25, 28, 51, 52, 53, 62, 67, 70, 71, 72, 105, 193,  
196, 197, 227, 230  
возраст 48, 54, 56  
происхождение 26, 40, 48–49, 227, 229  
периферическое расположение 68, 69

наличие воды 56, 60–61  
также см. планеты; Солнце  
Солнце 30, 43, 45, 63, 66, 66, 67, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 93, 94,  
112, 155, 214  
образование 48, 68, 97  
как источник тепла 169–170, 172, 191, 192, 194–195, 201, 202,  
239–240  
его будущее 70–71, 221  
сон 83, 84, 231–232  
влияние на здоровье 232  
генетические факторы 90–91, 92  
зависимость от освещенности 80, 93  
связь с ожирением 94  
также с м. суточный (циркадный) ритм  
“Спирит”, марсоход 62  
спутники искусственные 35, 49–50, 52, 60, 137, 229  
спутники планет 30, 62, 70, 104  
Стиглер, Стивен 211  
закон Стиглера 212, 244  
Стирнс, Стивен 219, 244  
структурная геология 223  
суточный (циркадный) ритм  
зависимость от освещенности 80–81, 94  
механизмы контроля 84–85  
мутации 90–92  
нарушение 89  
ощущение времени 81–83  
у дрозофил 88–89, 91  
у хомяков 90, 91  
Тадж, Пол 164–165, 166, 168, 181, 239  
Тайлер, Стэнли 98, 99, 100, 112  
Талчер, город 119  
Тарп, Мэри 126–130, 132, 134, 137, 142, 171, 176, 236, 247  
тектоника плит 134, 175, 235, 236  
движение 137–138  
и полуостров Индостан 173–174  
также см. континентальный дрейф  
телескоп 30, 33–34, 42, 52, 60, 63, 64, 137, 245  
Галилео Галилея 104–105  
и электромагнитный спектр 50, 64  
“Хаббл” 50  
Теллер, Эдвард 41–42, 45  
“Телстар”, искусственный спутник Земли 35  
темная энергия 41  
температура планеты  
цикличность 200

циклы Миланковича 193–195  
также см. континентальный дрейф; ледниковые периоды;  
океанические течения; парниковый эффект; тектоника плит;  
тепловой баланс; углерод  
температура тела человека 81  
тепло 41, 43, 50–51, 66–67, 169, 170, 177, 194, 199  
и летучие элементы 72–73  
и солнечное излучение 191, 192, 202  
также см. температура планеты; парниковый эффект  
тепловой баланс 66, 113, 173, 174  
Тибетское нагорье 137, 174, 175  
Тихий океан 125, 176  
Трансантарктические горы 166  
триасовый период 16, 17, 223  
Туле, авиабаза 200  
туманности 31, 104  
Андромеды 33–34  
Ориона 42–43  
углеводы 207  
углекислый газ 64, 65, 66, 169, 170, 172, 174, 175, 241  
углерод 28, 41, 44  
ядро атома 196  
изотопы 196–197, 198, 229  
круговорот 170–171, 172, 182  
в вулканических выбросах 171–172  
в атмосфере 140, 170, 173–175, 177, 240  
в человеческом теле 27  
уголь каменный 98, 119, 120, 145, 169  
Уилсон, Джон Тузо 135, 136, 236  
Уилсон, Роберт Вудроу 35, 36  
Уилсон, Эдвард Осборн 234  
Улам, Станислав Мартин 42, 45  
ультрафиолетовое излучение 50, 93  
Университет им. Джона Хопкинса 83–84, 116, 179  
Университет Макерере 180  
Уоллес, Альфред Рассел 211  
Уран 52  
уран 53, 56, 77, 229  
Ферми, Энрико 42, 196  
фермий 42  
Филлипс, Джон 146, 147, 148, 150, 151, 153, 156, 237  
Флеминг, Вильямина Патон Стевенс 31, 32  
фотосинтез 112, 214  
Фремингэм, город 219  
Фурье преобразование 199  
“Хаббл”, телескоп 50

Хаббл, Эдвин Пауэлл 33, 34, 35, 37  
Хартли-2, комета 60, 229  
Хейла – Боппа комета 60, 229  
Хейзен, Брюс Чарльз 127, 128, 129, 130, 131, 134, 137, 171, 176  
Холдейн, Джон Бердон Сандерсон 102, 234  
Холмс, Артур 131, 133  
холодная война 127  
проект Iseworm 184  
цветовое зрение 178, 179, 181, 241  
цезий 45  
циркон 55–56, 61, 77, 228, 229, 247  
человек разумный (*Homo sapiens*) 209  
Чикагский университет 124, 157, 158, 170, 196, 200, 206, 246  
Шафф, Чак 16, 17, 18, 20, 21, 24, 223, 245  
Шварценеггер, Арнольд 62  
Шеклтон, Эрнест Генри 176  
шишковидная железа 92, 93, 94  
Шопф, Уильям 233  
Шопф, Томас 156–157, 158  
Шотландия 135, 190  
Шукбана, пещера 204  
Эвинг, Уильям Морис 127, 129, 134  
эволюция 207, 218–219, 220, 223, 225, 231, 232, 233, 243  
Эврика, пролив 164  
Эймерал, Уильям 16, 223, 245, 246  
Эйнштейн, Альберт 38, 39, 41, 233  
эйнштейний 42  
электромагнетизм 38  
электроны 27, 40, 114, 115, 196, 228  
электропроводность 169  
элементы химические 27–28, 154–155, 170, 197, 228–229  
периодическая таблица 39, 41, 44–45  
летучие 27, 30, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 58, 60, 65, 70, 71, 72, 73  
новые, при атомном взрыве 42  
в звездах 43–44, 45, 46, 47, 170  
в теле человека 27  
такжес м. а томы  
Эльзевир, Луис 105  
энергия 36, 40, 42, 45, 114, 115, 141  
и масса 38–39, 41, 43  
темная 41  
фотосинтез 112  
Эниветок, атолл 42  
Энцелад, спутник Сатурна 70  
эрозия 55, 59, 100, 140, 143, 144, 151, 172, 174, 175, 177  
Этоша, национальный парк 163

“Эхо-1”, спутник 35  
эхолот 125  
Южная Америка 123, 124, 141, 176  
конгруэнтность Африке 119, 122  
приматы 179  
Южная Африка 120, 166  
ископаемые животные 149, 167  
Южное полушарие 167, 175  
Юпитер, божество 67  
Юпитер 52, 62, 67–69, 192  
спутники 30, 70, 104  
Юри, Гарольд Клейтон 196, 197, 198, 200, 201, 243  
Яблонски, Дэвид 158, 160, 238, 246  
ядерное оружие 41–42, 45, 184  
ящерицы 92–93, 141–142, 167