



Александр Викторович Волков
100 великих тайн Земли
Серия «100 великих»

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=6002759
А.В. Волков. 100 великих тайн Земли: Вече; Москва; 2013
ISBN 978-5-4444-0495-9

Аннотация

Какой была наша планета в далеком прошлом? Как появились современные материки? Как возникли разнообразные ландшафты Земли? Что скрывается в недрах планеты? Научимся ли мы когда-нибудь предсказывать стихийные бедствия? Узнаем ли точные сроки землетрясений, извержений вулканов, прихода цунами или падения метеоритов? Что нас ждет в глубинах Мирового океана? Что принесет его промышленное освоение? Что произойдет на Земле в ближайшие десятилетия, глобальное потепление или похолодание? К чему нам готовиться: к тому, что растает Арктика, или к тому, что в средних широтах воцарятся арктические холода? И виноват ли в происходящих изменениях климата человек? Как сказывается наша промышленная деятельность на облике планеты? Губим ли мы ее уникальные ландшафты или спасаем их? Велики ли запасы ее полезных ископаемых? Или скоро мы останемся без всего, беспечно растратив богатства, казавшиеся вечными?

Вот лишь некоторые вопросы, на которые автор вместе с читателями пытается найти ответ. Но многие из этих проблем пока еще не решены наукой. А ведь от этих загадок зависит наша жизнь на Земле!

Содержание

Прошлое и будущее	4
Глобальная тектоника плит	4
Так ли безупречна тектоника плит?	7
В поисках древних континентов	10
Превращалась ли земля в снежный ком?	13
Как рождалась Европа?	16
Почему разломилась Пангея? Куда исчезла Гондвана?	19
Рождение Южной Атлантики	22
Парк юрского периода	26
Парник мелового периода	29
Почему наступают ледниковые эпохи?	32
Ждем новую часть света: «Эфиопо-Кению»?	36
Земля – это Гея?	39
Каким будет мир через сотни миллионов лет?	42
В глубь планеты	45
Путешествие к центру Земли	45
Где прячутся мантийные струи?	48
Сдвигаются ли «горячие точки»?	51
Почему Америка до сих пор не утонула?	54
Как возникает магнитное поле Земли?	57
К чему приведет смена магнитных полюсов?	60
Суша	63
Тайга: исчезновение естественного рая?	63
Зловещие тайны болот	67
Степь: ускользающая натура	70
Тайны соленых озер	73
Чудеса пустыни	76
Загадочная власть гор	79
Конец ознакомительного фрагмента.	80

Александр Волков

100 великих тайн Земли

Прошлое и будущее

Глобальная тектоника плит

Шестого января 1912 года на главном собрании Германской геологической ассоциации тридцатидвухлетний Альфред Вегенер прочитал доклад о возникновении океанов и континентов, повергнув в шок ученую публику. Вегенер говорил о том, что континенты не всегда находились там, где мы видим их на карте. Нет, на протяжении всей истории нашей планеты они меняли свое положение.

Коллеги встретили его теорию в штыки. Само представление о том, что части земной коры, включая материки, могут перемещаться по поверхности планеты, казалось им абсурдным. Оно противоречило всему, что было известно тогдашней науке. Прошло почти полвека, прежде чем эта «абсурдная теория» была реабилитирована и легла в основу современной географии. Почему же научный мир так долго отказывал Вегенеру в признании?

Начиная с XVII века ученые пытались объяснить происхождение нашей планеты, а также ее характерного рельефа. Так, знаменитый английский физик Роберт Гук, ревностный соперник Ньютона, обратив внимание на то, что вдали от моря обнаруживают останки морских животных, сделал вывод, что на протяжении земной истории очертания морей и суши неоднократно менялись.

Но к началу XX века большинство географов считало, что соотношение морей и континентов оставалось неизменным с древнейших времен. Рельеф планеты менялся только за счет того, что ее недра постепенно остывали и она неравномерно сжималась. Другие полагали, что горы возникают оттого, что накапливаются отложения осадочных пород.

Среди этих дискуссий памятный доклад Вегенера прозвучал подобно взрыву разорвавшейся бомбы. Он говорил о дрейфовавших континентах, разрастающихся морях, о том, что расположенные в глубине Евразии Уральские горы и Гималаи образовались в результате столкновения континентов – одни (Гималаи) сравнительно недавно, другие очень давно.



Альфред Вегенер своей теорией о возникновении океанов и континентов поверг в шок ученую публику

Его не слушали. Его теория убедительно объясняла целый ряд событий в истории нашей планеты, но и впрямь была плохо аргументирована. Вегенер не мог объяснить, какие силы приводят в движение целые континенты.

Важнейший вклад в популяризацию его теории внес британский геолог Артур Холмс. Он предположил, что силой, движущей континенты, могут быть мощные конвективные потоки вещества в недрах Земли. Горячие массы медленно поднимаются из глубины планеты, в то время как более холодные породы постепенно опускаются вглубь.

Еще при жизни Вегенера, в 1925 году, посреди Атлантического океана была обнаружена протяженная горная цепь. Позднее было установлено, что срединно-океанические хребты тянутся по всему земному шару, а в 1953 году американские физики Морис Эвинг и Брюс Хизен открыли, что вдоль подводных хребтов простираются желоба – глубокие разломы в земной коре. Через несколько лет еще один американский ученый, Гарри Хесс, предположил, что система срединных хребтов – это область, где постоянно рождается новая океаническая кора. Сквозь разломы к поверхности устремляется горячая магма, раздвигая лежащие по обе стороны желоба участки морского дна. Так была найдена главная движущая сила глобальной тектоники плит. С середины 1960-х годов гипотеза Вегенера окончательно утвердилась в науке, став основой современной географии.

Как мы теперь знаем, земная кора состоит из семи крупных и целого ряда небольших литосферных плит, охватывающих всю ее поверхность. Они перемещаются, сталкиваются друг с другом, цепляются краями или «подныривают» одна под другую.

При столкновении двух океанических плит или океанической и континентальной образуется зона субдукции. Край одной из плит здесь погружается в глубь Земли и полностью расплавляется уже на глубине около 100 километров, где царят температуры от 1000 до 1500°С. Вдоль края другой плиты образуется цепь вулканических гор. Часто в зонах субдукции пролегают глубоководные желоба. Пример тому – Марианский желоб, возникший при столкновении Филиппинской и Тихоокеанской плит.

При столкновении двух континентальных плит образуются высокие горные системы, например Альпы или Гималаи. Последние возникли при столкновении Индо-Австралийской плиты с Евразийской (оно произошло около 40 миллионов лет назад). Индия и теперь подвигается на север со скоростью 5 сантиметров в год, а потому Гималаи продолжают расти.

Часто плиты не сталкиваются друг с другом в лоб, а скользят рядом, цепляясь краями. Возникающее при этом напряжение разряжается в виде сейсмических ударов, иногда очень мощных. Так, в районе Калифорнии, где Северо-Американская плита скользит вдоль Тихоокеанской, в результате такой сейсмической активности образовался разлом Сан-Андреас.

С появлением глобальной тектоники плит взгляд на эволюцию нашей планеты решительно изменился. Недаром эту теорию ставят в один ряд с учением об эволюции Дарвина и теорией относительности Эйнштейна. Но так ли она совершенна? В последние годы ставший уже классическим взгляд на движение литосферных плит постепенно меняется по мере того, как мы узнаем все новые факты.

Теперь тектоника плит, чем больше мы ее изучаем, представляется нам неким саморегулирующимся механизмом, в работе которого участвуют все системы, составляющие нашу планету.

Известно, например, что горы оказывают очень большое влияние на климат Земли. Но теперь становится ясно, что и климат влияет на тектонические процессы, протекающие в ее недрах. Пример тому – Анды, горная система, возникшая там, где океаническая плита Наска погружается под Южно-Американскую плиту. В южной части Анд климат влажный, что способствует развитию эрозионных процессов. Поэтому в Тихий океан попадает большое количество осадочных отложений. Они смягчают соударение плит. В северной и центральной

частях Анд климат сухой. Здесь почти не образуется осадочных отложений, а потому океаническая плита буквально соскребает край континента. Сила трения плит здесь так велика, что расположенная вдоль побережья горная система Анд вздымается все выше. Дождевые тучи все реже перебираются через эту стену, вознесшуюся у них на пути. Как следствие, на западных склонах Анд все реже идут дожди, что лишь ослабляет эрозионные процессы.

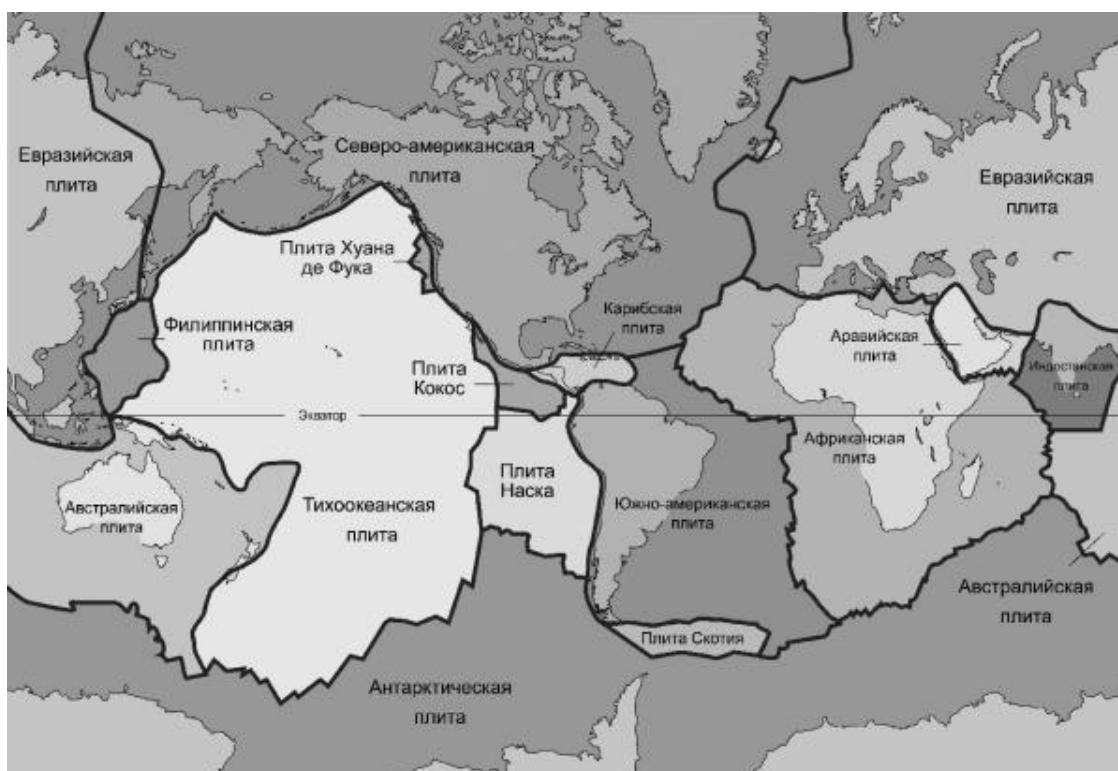
Ученые продолжают спорить и о том, по какой причине движутся литосферные плиты. Здесь много неясного, как и во времена Вегенера. Большинство придерживается мнения о том, что главной движущей силой являются медленные конвективные течения, которые возникают благодаря переносу тепла между расплавленным ядром Земли и ее мантией. Однако это плохо согласуется с наблюдаемой нами картиной тектонических движений.

Сторонники другой теории исходят из того, что в недрах планеты имеются два центра конвекции. Главный лежит под Африкой. Другой центр конвекции расположен на противоположной стороне земного шара – под Тихоокеанской плитой, которая постепенно уменьшается в размерах. Возможно, когда-нибудь все нынешние материки сойдутся на территории, занимаемой Тихим океаном, и, как это уже было в истории Земли, образуют суперконтинент, чтобы потом, со временем, когда он разломится на отдельные части, пуститься в обратном направлении. Начнется очередной цикл движения континентов.

Итак, идея Вегенера положила начало грандиозной революции в наших воззрениях на природу Земли. Эта революция не окончилась, она продолжается в тиши научных кабинетов, за экранами компьютеров и в экспедициях, проводимых в «горячих точках планеты» – там, где сталкиваются друг с другом не люди, а глыбы, материки.

Так ли безупречна тектоника плит?

Итак, за последние десятилетия гипотеза Вегенера превратилась во всесильную – и единственно верную – теорию, с помощью которой ученые готовы объяснить любой геологический феномен. В наше время трудно найти какой-либо раздел наук о Земле, в котором не используется тектоника плит. Так ли это необходимо? И все ли ясно с движением плит? Почему все-таки разламываются континенты? Почему литосферные плиты до сих пор не раздавили Африку? Куда исчезает старое океаническое дно? Почему землетрясения иногда происходят посреди литосферных плит? Рассмотрим подробнее некоторые из этих вопросов.



Границы тектонических плит Земли

Через весь Мировой океан тянутся срединно-океанические хребты. Это – швы, скрепляющие литосферу. По классической теории тектоники поток горячих базальтовых пород, изливающихся из недр Земли, поднявшись к ее поверхности, раздвигает океанические литосферные плиты. Затем он растекается по обе стороны шва и застывает. Так разрастается земная кора. Под напором магмы океаническая плита, словно перемещаемая громадным транспортером, надвигается на другую литосферную плиту, движущуюся ей навстречу, например более тяжелую континентальную плиту. В результате их столкновения край океанического дна «подныривает» под эту плиту и погружается в мантию Земли. Эту зону, где край одной литосферной плиты затягивается под другую, называют зоной субдукции. В самой мантии также движется поток вещества. В зоне срединно-океанического хребта он поднимается к поверхности и, изливаясь, раздвигает лежащие над ним плиты. Все повторяется. Потоки вещества непрерывно циркулируют, то исчезая в недрах Земли, то растекаясь по дну океана.

Если эта модель верна, то где-то по обе стороны от каждого подводного хребта должна лежать зона субдукции. Или, иными словами, если здесь земная кора разрастается, то там она должна исчезать. Однако один из континентов – Африка – удивляет ученых. Земная

кора вокруг нее лишь разрастается, но никакой зоны субдукции, где лишнее вещество могло бы исчезнуть в недрах Земли, здесь нет. Со всех сторон на Африку надвигаются потоки вещества, поднявшегося наверх. Они все прибывают... Кажется, под их напором громадный материк, в конце концов, сомнется, но этого не происходит. Наоборот, Африка расширяется! Почему?

Может быть, срединно-океанические хребты тоже движутся, постепенно удаляясь от Африки? В таком случае Африканская плита – точнее, подводная ее часть – будет неизменно увеличиваться в размерах. Но если эти хребты движутся, то привычная модель, описывающая поведение вещества в недрах Земли, перестает работать. В настоящее время считается, что под каждым из неподвижных срединно-океанических хребтов сходятся два конвективных кольца, по которым циркулирует разогретое мантийное вещество. Здесь образуется восходящий поток. Он изливается по обе стороны хребта. Такие зоны разрастания земной коры пролегают вдоль Тихого, Атлантического и Индийского океанов. Неужели это не так?

В альтернативной модели имеются лишь два восходящих потока: один по-прежнему располагается под Тихим океаном, другой же торит дорогу наверх под Африканским континентом. С первым из них все ясно, схема его движения осталась той же, что и в классической модели. Поговорим подробнее о другом потоке, который изливается под Африкой. Конечно, пробиться сквозь континентальную толщу он не может. Земная кора ограждает его, как гранитная набережная – реку. Горячее мантийное вещество растекается под земной корой. Наконец, эта «подземная река» достигает океанических хребтов. Здесь она прорывает стеснявшую ее оболочку и просачивается наружу. Продолжив наше сравнение, скажем, что так же река прорывает плотину.

В подобной модели Африка будет лишь расширяться. Однако сейсмические исследования пока не подтверждают этот вывод. Процессы, происходящие в недрах Земли, выглядят гораздо сложнее, нежели в простых, схематичных теориях, четко указывающих, каким частям литосферы в какую сторону следует двигаться. Пока же лишь эмпирические наблюдения убеждают нас в том, что Африке не грозит превратиться в лепешку под напором грозно сомкнувшихся плит. Однако ученые еще не в силах убедительно объяснить, какой же подземной силе приписать ее чудесное спасение.

А вот другая загадка. Глобальная тектоника занимается, прежде всего, краями литосферных плит. Все самое интересное происходит именно там, где одна плита соприкасается с другой: там бушуют вулканы, там громоздятся горные цепи, там землю сотрясают удары стихии, затаившейся в недрах. С помощью тектоники плит легко объяснить все эти феномены. Лишь одно смущает ученых: покоя нет и посреди литосферных плит. Землетрясения, например, наблюдаются даже здесь. Похоже, пресловутые плиты – движущая сила современной геологии – вовсе не являются столь монолитными, как того требует теория. Тут что-то не так.

Остается признать, что структура плит, очевидно, очень сложна. В них имеются ослабленные участки, есть небольшие швы и изломы. Так стоит ли удивляться тому, что плиты сплошь и рядом не выдерживают приходящихся на них нагрузок и «трещат по всем швам».

Естественно, в наше время – время строительства атомных электростанций и грандиозных плотин – ученые и инженеры хотели бы доподлинно знать, насколько слабы те или иные плиты, на которых они собираются возводить свои сооружения. Проще говоря, можно ли считать такой-то район сейсмически опасным? Какова вероятность того, что в ближайшие 100 лет здесь может разразиться землетрясение с магнитудой, равной 7 баллам? Подобное событие будет иметь катастрофические последствия.

Во многих случаях ответить на заданные нами вопросы легко. Возьмем для примера один из самых густонаселенных районов США – Калифорнию. Через весь этот штат, вытянувшись на 1300 километров, пролегает разлом Сан-Андреас. В его окрестностях подзем-

ные толчки наблюдаются столь часто, что местные жители готовы к ударам стихии. Они строят здания с учетом сейсмической опасности и принимают другие меры, чтобы уменьшить возможное число жертв.

Итак, люди, живущие вдоль границ литосферных плит, вынуждены все время помнить о грозящем им бедствии. А вот посреди плит мощные землетрясения случаются очень редко – в среднем раз в тысячу лет. Поэтому место, где в следующий раз ударит стихия, неизвестно. Ни одну из подобных катастроф нельзя предсказать, ведь прежде ничего подобного в этом районе не наблюдалось.

Осенью 1993 года неожиданный удар потряс штат Махараштра на западе Индии. Здешние жители не были готовы к этой катастрофе, ведь местность считалась сейсмически безопасной. Однако земля содрогнулась именно здесь, и это событие унесло жизни почти 10 тысяч человек. В 1968 году сразу три сильных землетрясения произошли в Австралии, посреди Индо-Австралийской плиты. К счастью, все они произошли в пустынной местности, где почти не было людей. В начале XIX века неожиданные землетрясения наблюдались в равнинной долине Миссисипи. Множество бревенчатых хижин рассыпалось, не выдержав подземных толчков.

Авторитетные геофизики считают, что нужно составить всемирную карту деформаций литосферных плит. Однако движения, происходящие посреди плит, настолько малы, что их трудно зафиксировать. На эту работу уйдет много лет. Но цель все же оправдывает средства. Благодаря этой карте мы увидим зоны наиболее сильных деформаций. Именно они являются источниками сейсмической опасности.

В поисках древних континентов

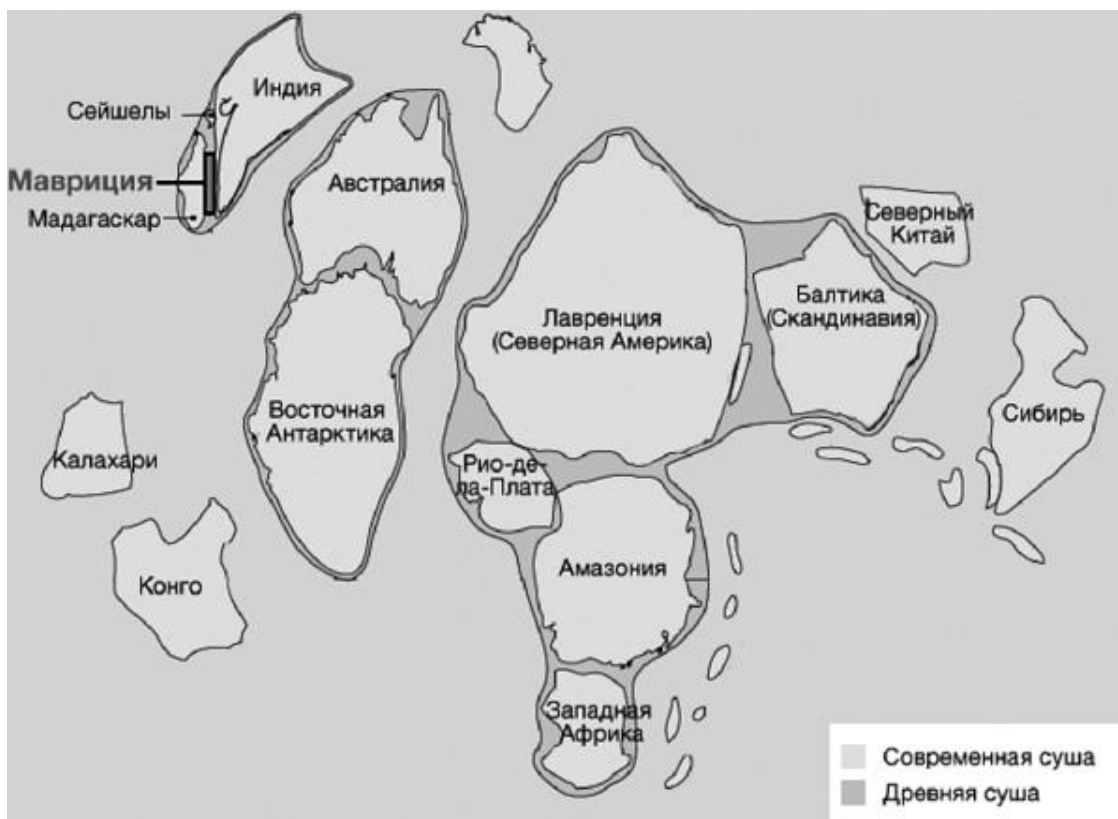
Совершив путешествие почти на 2 миллиарда лет в глубь истории нашей планеты. Тогда ее облик был непривычен. Посреди океана, населенного лишь сине-зелеными водорослями и бактериями, лежал один-единственный материк. Он простирался на 12 тысяч километров, достигая в поперечнике 5 тысяч километров. Так предполагает американский геолог Джон Роджерс. По его расчетам, этот суперконтинент появился 1,7 миллиарда лет назад.

Впервые о существовании этого материка заговорил немецкий геолог Ханс Штилле в 1944 году. Позднее стали появляться тому доказательства. Материк даже окрестили Мегатеей. Наконец, в 2002 году Роджерс описал забытый материк, дав ему новое имя, в своей статье «Конфигурация Колумбии, суперконтинента среднего протерозоя».

Облик Колумбии он прихотливо составил из современных континентов и островов. В ту пору западное побережье Индии граничило с западным побережьем Северной Америки; Южная Австралия примыкала к Канаде, а восточное побережье США – к Западной Бразилии. Гренландия оказалась соседкой Сибири, как та же Индия – Антарктиды.

Гипотезу Роджерса подкрепляет и статистика геологов. Около 1,8—1,7 миллиарда лет назад в разных частях света образуются мощные горные цепи. Возможно, они возникают при столкновении отдельных частей суши, сливавшихся в одно целое. Однако суперконтинент оказался неустойчив и начал распадаться на части примерно 1,5 миллиарда лет назад. Это время характеризуется очень интенсивным образованием магматических пород – верный признак того, что земная кора растягивалась и континенты отдалялись друг от друга.

Их последующее местоположение ученые воссоздают, используя метод палеомагнитного анализа. Он помогает понять, где родилась – допустим, возникла из застывающей лавы – та или иная порода. Как известно, минералы, обладающие магнитными свойствами, в момент своего рождения ориентируются вдоль магнитного поля Земли. Лава застынет, пройдут миллионы лет, но эти минералы все так же будут указывать направление магнитного поля в далеком прошлом. А зависит оно от географической широты, ведь на любой широте Земли своя инклинация (магнитное наклонение) – свой определенный угол между вектором напряженности геомагнитного поля и земной поверхностью. Зная возраст минерала, можно определить, на какой широте он находился в то время, когда возник.



Реконструкция Родинии (1,1 млрд лет назад)

Впрочем, «магнитный справочник» весьма неполон. В него не вписаны объекты, чей возраст превышает 1,1 миллиарда лет. Почти все более древние породы расплавились и утратили прежние магнитные метки. И все же этот «справочник», запечатленный в камне, – если заглянуть и пролистать его, – помогает понять, как выглядела Земля около миллиарда лет назад. Тогда все части света вновь соединились. Они напоминали россыпь виноградин, повисшую на веточке. Новый суперконтинент назвали Родинией. В этом имени угадывается до боли знакомое русское слово. В самом деле, этот древний континент назван так в честь Родины – может быть, родины жизни.

К моменту возникновения Родинии почти всю нашу планету – от 90 до 95 % ее поверхности – покрывал гигантский океан (сегодня на долю Мирового океана приходится лишь 70 % поверхности Земли). С появлением Родинии разительно изменились и морские течения, и климат. Именно тогда, по предположению американского геолога Эйдриджа Муреса, на Земле впервые установилась смена времен года.

Ввиду изменения климата стало меняться и содержание кислорода в атмосфере. Через 500 миллионов лет это привело к взрывному распространению жизни на нашей планете.

Появление Родинии было отмечено катастрофами. Это виноградинки вырастают бесшумно, а острова или материки, согнанные вместе работой земного «конвейера», что есть силы сшибались. После каждой сшибки на месте недавнего зазора поднимались горы. Остатки той горной цепи протянулись почти по всему востоку США. Здесь древний хребет обрывается, чтобы продолжиться... на востоке Антарктиды и, возможно, в Австралии.

В истории Родинии по-прежнему много неясного. Вопросы вызывает и ее хронология, и расположение в ее составе нынешних континентов. Предложено несколько моделей, реконструирующих ее облик. Наиболее популярные модели носят названия SWEAT (*Southwest US – East Antarctica*), AUSWUS (*Australien – western US*) и AUSMEX (*Australien – Mexico*). Во всех этих моделях основу Родинии составляет древнейший континент Лав-

рения. Он охватывал отдельные области современной Гренландии, Северной Америки и Восточной Сибири.

В модели SWEAT к юго-западной оконечности Лаврентии (та находилась примерно там же, где сейчас – Северная Америка) примыкала Антарктида, которая, в свою очередь, соединялась с Австралией. В модели AUSWUS Австралия примыкала к западному побережью Лаврентии, Антарктида опять же соединялась с Австралией, но лежала заметно южнее, а потому не соприкасалась с Лаврентией. Наконец, в модели AUSMEX Австралия лежала далеко к югу от Лаврентии, но все-таки два континента – Австралия и Лаврентия – соприкасались друг с другом на широте современной Мексики.

В 2009 году С. Богданова, С. Писаревский и Чжу Ли раскритиковали все три модели на страницах журнала *Stratigraphy and Geological Correlation*. По их мнению, с запада к Лаврентии примыкал Южный Китай. Части Южной Америки граничили с восточным побережьем Лаврентии, севернее находилась Балтика. К югу от Лаврентии располагались отдельные области будущей Гондваны, а к северу – Гренландия и Сибирь.

В свою очередь, другие ученые возражают против этой картины. Очевидно, пройдет еще немало времени, прежде чем будет найдена такая конфигурация Родинии, которая удовлетворит всех геологов.

По предположению американского сейсмолога Пола Силвера, с возникновением Родинии тектонические движения плит прекратились. Перестали выбрасывать огненную лаву вулканы. Земная кора стала заметно толще. Это затишье продолжалось около 100 миллионов лет. Потом недра Земли перегрелись настолько, что начались грандиозные вулканические извержения. Это привело к распаду Родинии, и тогда движения литосферных плит возобновились.

Примерно через 150 миллионов лет после своего возникновения Родиния распалась на две части – Северную и Южную Родинию. Вероятно, она была сокрушена мощным потоком магмы, пробившимся из недр Земли.

Вся история континентов на нашей планете – словно покачивание маятника. Взмах влево – материи разбросаны по океанам. Взмах вправо – «камешки» складываются в мозаику, образуя огромный континент. На нашем календаре: 600 миллионов лет до дня сегодняшнего, и маятник повернул в очередной раз. Сформировался еще один суперконтинент – Паннотия. Однако законы глобальной тектоники сокрушили и его.

Следующие названия – Гондвана, Лавразия – уже на слуху и даже на страницах школьных учебников. В конце каменноугольного периода (359—299 миллионов лет назад) два этих материка сблизилась вплотную. Возник новый суперконтинент – Пангея. Он протянулся почти на 14 тысяч километров. Почти 100 миллионов лет длилось затишье. Потом Пангея, как подтаявшая льдина, начала трескаться, раскалываться.

Дальнейший дрейф континентов хорошо известен. Возможно, со временем будут подробно изучены и «злключения» Колумбии. А пока геологи задаются вопросом: «А что было до Колумбии?» Предполагается, что около 3,8 миллиарда лет назад существовала Археогия – «древнейшая Земля»; около 3 миллиардов лет назад – Протогья, «первичная Земля».

Превращалась ли земля в снежный ком?

В позднем протерозое – примерно 750—580 миллионов лет назад – оледенение охватило большую часть планеты, причем, как полагают ученые, в эту эпоху было по меньшей мере два периода продолжительностью от 5 до 10 миллионов лет, когда вся Земля превращалась в «снежный ком» – покрывалась льдами. Даже океаны были скованы километровой толщиной льда. Лишь тепло, притекавшее из недр Земли, спасало их от полного промерзания.

Эту гипотезу предложил в 1992 году американский геолог Джозеф Киршвинк. Вскоре она получила популярность, хотя еще и теперь оспаривается учеными. Впрочем, и до Киршвинка высказывались догадки о том, что в истории Земли были эпохи глобального оледенения.

Так, в 1964 году Брайан Харланд из Кембриджского университета опубликовал в нескольких специализированных геологических изданиях результаты своих геомагнитных исследований. Из них явствовало, что в позднем протерозое ледники находились близ экватора. Тогда же советский ученый Михаил Будыко заговорил о «положительной обратной связи»: когда ледники достигнут 30° северной или южной широты, они начнут разрастаться до тех пор, пока вся Земля не будет скована льдами. Дело в том, что в низких широтах солнечные лучи падают на поверхность Земли под таким углом, что большая часть их отражается ото льда и рассеивается. Это приводит к очень быстрому охлаждению планеты. Полное оледенение суши, как показывают расчеты, займет всего несколько десятилетий.



После распада Родинии, в позднем протерозое – примерно 750—580 млн лет назад, – оледенение охватило большую часть планеты

Но окончательное становление этой гипотезы связано с именем геолога из Калифорнийского технологического института Киршвинка. Что же убедило его в том, что ледники в тот период простирались вплоть до экватора? Изучив образцы пород, взятые в Австралии, в

районе хребта Флиндерс, он увидел, что там есть породы, которые могли возникнуть только в условиях оледенения и что они формировались близ экватора (это показали палеомагнитные исследования). Последующие работы подтвердили его правоту.

В 1998 году Пол Хофман из Гарвардского университета опубликовал на страницах Science результаты изучения карбонатных пород в Намибии, относившихся к эпохе позднего протерозоя. Как выяснилось, в них содержалось крайне мало изотопа углерода-13. Это можно было также объяснить оледенением планеты и тем, что всякая биологическая активность в этот период почти прекратилась. Ведь при заметном увеличении биомассы возрастает и количество изотопа углерода-13 в карбонатах.

Наконец, в марте 2010 года журнал Science сообщил, что ученые из Принстонского университета установили, что 716,5 миллиона лет назад ледники достигли экватора. Так еще раз подтвердилась правота этой странной гипотезы.

Что же вызвало такое мощное оледенение? Предположительно главной причиной было то, что громадный континент – Родиния – разломился на отдельные части. Теперь осадки выпадали во всех уголках суши. Прежде же центральная область Родинии представляла собой обширную пустыню, где почти никогда не шли дожди и не выпадал снег. Дождевая вода содержит углекислый газ. Проникая в почву, этот парниковый газ вступает в реакцию с содержащимися здесь веществами и таким образом связывается, извлекается из атмосферы. По этой причине в эпоху позднего протерозоя содержание углекислого газа в атмосфере уменьшалось, а потому понижалась и средняя температура на Земле. В конце концов, вся ее поверхность постепенно покрылась льдами. Такова в общих чертах эта гипотеза.

Канадский геофизик Грант Янг считает, что причина оледенения в тропиках была другой. Земная ось в ту пору была наклонена не на 23° , а на 54° . В таком случае в районе экватора будет холоднее, чем на полюсах. И может быть, оледенение ограничивалось именно тропической областью, в то время как в полярных областях установился жаркий климат? В самом деле, изучая ледниковые отложения, геологи обнаруживают характерные структуры, которые свидетельствуют об очень резких сезонных колебаниях климата в ту эпоху – похоже, земная ось и впрямь была наклонена тогда сильнее, чем сегодня.

Отступление ледников чаще всего связывают опять же с процессами глобальной тектоники плит. Вдоль границ плит начались многочисленные извержения вулканов. Это привело к тому, что содержание углекислого газа в атмосфере в 350 раз превысило нынешнюю его концентрацию. На Земле начался «галопирующий парниковый эффект» (не в пример нынешнему!). В то время на планету обрушивались такие страшные ливни и ураганы, что мы с трудом можем себе это представить. Земля была почти не пригодна для жизни.

Пол Хофман полагает, что ледники растаяли буквально «мигом» – менее чем за 100 тысяч лет, хотя геологических свидетельств этому не обнаружено. Предполагается, что после таяния льдов на Земле установился чрезвычайно жаркий климат. Температура доходила до 50°C .

Еще одна гипотеза гласит, что именно в то время, когда вся планета покрывалась льдами, стали формироваться «колонии клеток» – многоклеточные организмы. Когда же в эдиакарском периоде (635—541 миллион лет назад) наступило потепление, началось и бурное распространение этих организмов. Возникла уникальная экосистема – «сады Эдиакары».

Противники теории «Земля – снежный ком» обращают внимание на то, что она основана на очень небольшом числе фактов. Результаты палеомагнитных исследований пород, относящихся к эпохе протерозоя, крайне ненадежны. Точно так же нельзя уверенно реконструировать, где располагались континенты в интересующую нас эпоху. Многие указывают на то, что в конце протерозоя наблюдались периоды оледенения, но на основании этого нельзя делать вывод о том, что вся Земля на миллионы лет покрывалась льдами.

Кроме того, полное оледенение планеты, продолжавшееся миллионы лет, привело бы к вымиранию всех организмов, вырабатывающих кислород путем фотосинтеза. На Земле сохранились бы только организмы, в основе жизнедеятельности которых лежат совсем другие формы обмена веществ. Конечно, подобные организмы существовали на Земле и в те времена, есть они и теперь, например архебактерии и серобактерии. Однако, по мнению ученых, невозможно представить себе, что могло побудить их после таяния ледников отказаться от привычного способа питания и перейти к фотосинтезу.

Так, может быть, океан тогда не полностью был скован льдами? Так, в 2010 году журнал *Geology* сообщил, что в Австралии, в районе того же хребта Флиндерс, были обнаружены образцы пород, которые свидетельствуют, что, по крайней мере, некоторые участки океана были свободны ото льда. Речь идет о породах, которые возникают, когда в открытом море поднимаются штормовые волны. Те выхватывают с морского дна камни и песок, увлекая их за собой, а потом, перенеся свою добычу куда-либо в другое место, оставляют ее, и она оседает на дне, где-нибудь у побережья. Там, среди обычных осадочных отложений, неожиданно обнаруживаются посторонние породы, попавшие сюда издалека. Очевидно, и в период «полного оледенения» сохранялись гигантские «полюнья», по которым перекатывались волны. Именно благодаря подобным оазисам, где имелась жидкая вода и куда проникал солнечный свет, на планете все-таки уцелели древнейшие организмы, населявшие ее.

Вскоре по окончании криогения (850—635 миллионов лет назад) – так называется этот период глобального оледенения – произошел «кембрийский взрыв»: на Земле появились самые разные виды многоклеточных животных.

Как рождалась Европа?

На фотографиях, сделанных из космоса, Европа представляет собой монолитный массив суши – часть громадного континента под названием Евразия. Разумеется, так было не всегда. Если бы нам удалось очистить Европу от видимой поверхности, как апельсин от кожуры, то мы заметили бы многочисленные «шрамы» – границы древних литосферных плит, столкнувшихся когда-то друг с другом, а затем слившихся воедино. Эти шрамы могут многое рассказать об очень драматичной истории той части света, где живет большинство из нас, россиян. Хроника становления «Соединенных Плит Европы» очень запутанна и темна – тем больший интерес она вызывает у исследователей.

Где же притаились эти «шрамы» – швы, стянувшие разрозненные части разных литосферных плит в единое европейское целое? Из каких же фрагментов сложен, подобно пазлу, остов Европы? Когда и как они заняли свое привычное для нас место? Как удалось восстановить историю этих «слияний и поглощений»?

Это границы современных литосферных плит выдают себя, например, постоянной сейсмической активностью или необычным рельефом – там стеной выросли Анды, там разверзся разлом Сан-Андреас. Здесь швы Земли буквально выпирают – назойливо кричат о себе. Однако посреди литосферных плит – а Европа представляет собой теперь лишь часть Евразийской плиты – всё обстоит иначе. Земная кора надежнее всякой ретуши скрывает бывшие швы, а эрозионные процессы сгладили то небольшое, что выдавалось.

Как же найти границы древних литосферных плит? Их выдает присутствие определенных горных пород. Например, такие породы, как эклогит, образуются в результате процессов субдукции, протекающих вдоль границ литосферных плит, а потому они очень важны для геологов, поскольку могут многое поведать о прошлом тех или иных участков суши. Когда ученые обнаруживают эти породы где-нибудь посреди континента, это – верный признак того, что когда-то здесь могла пролегать граница литосферной плиты. Впрочем, иногда столкновения плит бывали столь катастрофическими, что образцы этих пород находят на расстоянии до 300 километров от края одной из плит.



Вид Европы из космоса

Еще один признак того, что некогда здесь находился край литосферной плиты, – характерные включения расплавленных образцов пород, которые иногда встречаются в земной коре. Они возникают, когда магма из верхнего слоя мантии или нижнего слоя коры проникает в расположенные выше слои, расплавляя породы, лежащие у нее на пути. Впрочем, зачастую магма не изливается на поверхность Земли, а образует крупный магматический массив – плутон – в толще коры планеты. Даже через миллионы лет подобный массив разительно отличается и по своей структуре, и по химическому составу от обычного материала коры; нередко он четко отграничен от соседних участков.

Все эти породы, что формировались в зонах субдукции, и маркируют древние швы, протянувшиеся вдоль линии столкновения плит или их обломков. Ведь во время таких коллизий они выдавливались наверх и теперь образуют горные цепи, которые постепенно и приоткроют нам далекое прошлое Европы.

Например, Арденны, Гарц и Рейнские Сланцевые горы возникли в позднем палеозое в результате процессов герцинской складчатости. Тогда узкая литосферная плита под названием Авалония, объединявшая Ньюфаундленд, Англию, Уэльс, а также часть Ирландии, столкнулась с группой Армориканских островов. Разделявшее их море было вытеснено на юго-восток. Так называемая Среднегерманская кристаллическая зона, охватывающая Шпессарт, Тюрингский лес и Кифхойзер, протекает там, где когда-то находилась зона субдукции. По большей части эти древние горы сложены из плутонических пород.

И все-таки точную эволюцию подобных «геологических шрамов» трудно бывает проследить – тем более что во время такой коллизии сама область соударения двух континентов или крупных островов изгибается. Один из таких изгибов протянулся от юго-запада современной Англии до Южной Португалии. Другая дуга соединила каменноугольные бассейны

Рура и Верхней Силезии. Похожие образования выявлены и в более молодых складчатых горах – Альпах и Карпатах.

В принципе, геологи разработали различные методы, позволяющие реконструировать, какими маршрутами дрейфовали древние острова и континенты. Важным подспорьем в их работе стал земной магнетизм. Ведь в зависимости от широты, на которой располагается та или иная область нашей планеты, меняется направление линий магнитного поля Земли. Чем ближе мы находимся к полюсам, тем выше величина магнитного наклона.

Когда расплавленные породы, выброшенные из недр планеты, изливаются на ее поверхность и застывают, они намагничиваются, сохраняя своего рода запись о свойствах магнитного поля в той точке Земли, где эти породы и образовались. Если они не будут уничтожены процессами эрозии, то их магнитная маркировка способна сохраняться сотни миллионов лет. Геологам нужно лишь изучить этот каменный архив.

Так, участки суши, составлявшие в ордовикском периоде (около 485—443 миллионов лет назад) Гондвану и острова Армориканского архипелага, располагались близ полюса, поскольку величина магнитного наклона их пород лежала в пределах от 65 до 82°, а это очень высокий показатель. Наоборот, такие литосферные плиты, как Авалония и примыкавшие к ней с севера Лаврентия, а также Балтика (это – нынешняя европейская часть России и Скандинавия), в то время находились гораздо ближе к экватору.

Все эти факты и позволили хотя бы приблизительно восстановить, как шло формирование Европы, из каких литосферных плит она составлялась. Вот так ее геологическая история выглядит в представлении современных ученых.

Более **500 миллионов лет назад** Авалония и острова Армориканского архипелага еще располагались у северной оконечности Гондваны.

Затем, около **490 миллионов лет назад**, вначале Авалония, а позднее и Армориканские острова стали отодвигаться от Гондваны и, в конце концов, переместились далеко на север.

Около **440 миллионов лет назад** Авалония примкнула к Балтике, а вскоре после этого они сблизилась с Лаврентией, что привело к постепенному исчезновению океана Япетус.

Около **380 миллионов лет назад** Лаврентия все-таки столкнулась с Авалонией и Балтикой. Началась эпоха каледонской складчатости. Она ознаменовалась рождением гор на территории современной Шотландии и Норвегии. К этому огромному континенту постепенно пристыковались и Армориканские острова. Именно тогда образовалась большая часть эклогитов, которые обнаруживают в Центральной Европе.

Наконец, около **340 миллионов лет назад** Гондвана также начала перемещаться на север и впоследствии соединилась с другими материками. Так возник суперконтинент – Пангея.

Но на этом исследование геологической истории Европы отнюдь не окончилось, как не завершена еще и сама эта история. Путешествие материков продолжается своим неспешным чередом. Так, через несколько миллионов лет – сущий пустяк по меркам геологов! – близ восточного побережья Атлантического океана, возможно, образуется зона субдукции. Она проляжет под Западной Африкой, Испанией и Британскими островами. В свою очередь, от Северного моря к Средиземному, вдоль Рейна и Роны, вероятно, протянется новый морской пролив. Тогда западная оконечность Европы устремится на запад, а Авалония останется на месте. Какие перемены еще ждут этот осколок «старой доброй Европы»? Дрейф континентов и того, что от них останется, будет длиться, наверное, почти пару миллиардов лет...

Почему разломилась Пангея? Куда исчезла Гондвана?

В далеком прошлом все современные материки составляли единое целое – суперконтинент Пангею (от греч. «вся Земля»). Этот громадный континент начал формироваться около 300 миллионов лет назад. Мировой океан – Панталасса – омывал Пангею, а его громадный залив Тетис вдавался глубоко в сушу.



Карта Пангеи

Но около 150 миллионов лет назад Пангея полностью распалась. Что же сокрушило великую земную твердь? Стал ли континент «жертвой» своих исполинских размеров, невольно надломивших его? Около 120 миллионов лет назад распался и огромный континент, располагавшийся в Южном полушарии, – Гондвана. Как это произошло?

Многие специалисты полагают, что появление Пангеи нарушило равновесие масс на планете. Этот дисбаланс сказался даже на вращении Земли. Представьте себе, как неравномерно станет вращаться колесо, если к его ободу прикрепить массивный груз. Нечто подоб-

ное произошло и с планетой. В конце концов, литосферный сгусток разорвался на части – Гондвану и Лавразию, которые, в свою очередь, тоже начали распадаться. Так уже было не раз в истории Земли. Подобная судьба постигла и другие суперконтиненты, возникавшие задолго до Пангеи, как то: Мегагею (Родинию), Протогею и Археогею.

Линии разлома Пангеи предположительно пролегли по участкам литосферных плит, ослабленным во время столкновений с другими плитами, например, там, где к континенту когда-то присоединился огромный остров или другой континент.

Вот так – ясно и убедительно – выглядит общепринятая теория. Впрочем, все больше ученых готовы заявить, что все было не так. Факты показывают, что вполне реалистичен и другой сценарий. Возможно, главную роль в распаде континентов играли вовсе не тектонические процессы, вызывающие растяжение и растрескивание земной коры.

Геологи давно обратили внимание на островную гряду, лежащую в центральной части Тихого океана – Гавайские острова. Здесь почти на 3500 километров протянулась цепочка вулканов. Самые молодые из них – Мауна-Лоа и Килауэа – выбрасывают лаву до сих пор; самый дальний (и древний) из этих вулканов проявлял активность более 40 миллионов лет назад. Все эти вулканы породила так называемая «горячая точка», где из глубинных слоев мантии поднимается раскаленная струя вещества. Она прорезает в литосфере дыру. Здесь появляется вулкан. «Горячая точка», принято считать, неподвижно располагается в мантии, в то время как литосфера медленно движется над ней. Постепенно вулкан удаляется от магматического очага и гаснет. Зато в стороне от него возникает новый вулкан, подобно тому как на листе бумаги, которым медленно водят над горящей свечой, появляется цепочка пятен-подпалин. Так вдоль подводного Гавайского хребта образовалась цепочка вулканов разного возраста.

Жидкая лава изливается из гавайских вулканов спокойно, без разрушительных взрывов. Особой опасности она не представляет. Она растекается вокруг кратера и тихо застывает, то рассыпаясь на множество угловатых глыб, то нависая гладкой черной корой. Однако подобные вулканы не всегда бывали столь кроткими. В истории Земли случались более жаркие времена. Ученые обнаружили слои застывшей лавы километровой толщины. Их площадь превышает площадь Скандинавского полуострова. Очевидно, вулканы здесь не стихали на протяжении нескольких миллионов лет. Причиной столь мощных извержений, как полагают, были мантийные струи невиданной силы, легко прожигавшие литосферу.

Что же могло породить эти гигантские струи? По-видимому, зоны аномального разогрева. На дне океанов земная кора очень тонка – всего десяток километров. Прямо под ней залегают раскаленные породы, хорошо прогревающие эту скудную оболочку. Зато под континентами толщина коры достигает 30—80 километров. Подобный щит надежно охраняет от жара, царящего в недрах Земли.

Однако, если континент достигает определенных – критических – размеров, под ним скапливается аномально большое количество тепла. Горячая струя вещества поднимается из мантии, но не может пробить себе дорогу вверх. Литосфера плохо проводит тепло, а потому фактически является теплоизолятором. Тогда расплавленное вещество растекается по сторонам. Образуется горизонтальный конвективный поток. Тем временем из недр Земли все прибывают раскаленные породы. Наконец, этот мощный поток все-таки прожигает верхний слой литосферы и изливается наружу. Он долго не находил себе выхода, но, подточив толщу континента, теперь разрывает его. Начинаются длительные вулканические извержения.

Если эта гипотеза верна, то вдоль линии, по которой разламывается континент, возникает множество вулканов. Следы древних извержений, несомненно, должны были сохраниться вдоль части атлантического побережья Африки, Южной Америки и Европы – там, где пролегла трещина, разделившая Пангею. В самом деле, вдоль указанных берегов Атлантического океана тянутся обширные базальтовые слои, возникшие именно в ту эпоху, когда

«вся земля» постепенно ломалась надвое. Впрочем, собранных пока фактов слишком мало, чтобы отдать предпочтение одной из двух гипотез.

Это же можно сказать и о распаде Гондваны. Это – крупнейший континент, когда-либо располагавшийся в Южном полушарии Земли (его название происходит от названия области в Центральной Индии). В его состав входили современные Африка, Австралия, Южная Америка, Антарктида, Индия и Мадагаскар.

Важнейшей областью Гондваны, ее подлинным сердцем, была Антарктида, которая граничила со всеми остальными современными материками, составлявшими этот древний континент. Поистине под ледяным щитом Антарктиды донныне хранятся скрижали, на которых, не потревоженная до наших дней, запечатлена история Гондваны. Ее еще предстоит когда-нибудь прочитать будущим поколениям ученых.

Около 160 миллионов лет назад Гондвана и Лавразия начали распадаться на привычные для нас континенты, пространство между которыми заполнили новые океаны – Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый. Карта Земли постепенно приобрела знакомый нам вид.

Внимание геологов давно привлекает архипелаг Тристан-да-Кунья, лежащий в южной части Атлантического океана. Здесь проживает всего три сотни человек. Главный остров архипелага представляет собой вулканический конус, достигающий в поперечнике 12 километров. Возможно, именно этот ни чем не примечательный клочок земли и сыграл ключевую роль в исчезновении Гондваны. Однако детали процесса, который привел к этому, во многом неясны.

Предполагается, что под главным островом архипелага, как и под островом Гавайи, скрывается «горячая точка». Возможно, подобные вулканы когда-то буквально прожгли Гондвану, и ослабленная твердь распалась на отдельные крупные обломки. На образовавшейся океанической коре, несомненно, остались следы тех грандиозных извержений – лавовый материал, выброшенный вулканами. В самом деле, в окрестности архипелага тянется подводный хребет – Китовый хребет, Проблема лишь в том, что на сегодняшний день так окончательно и не установлено, является ли остров Тристан-да-Кунья «горячей точкой». И может быть, здешняя вулканическая активность была лишь последствием распада Гондваны?

Проверить эту модель можно, лишь обследовав подводные окрестности архипелага. Подобная работа только начинается. В любом случае распад Гондваны разительно изменил картину течений в Мировом океане и оказал огромное влияние на климат нашей планеты.

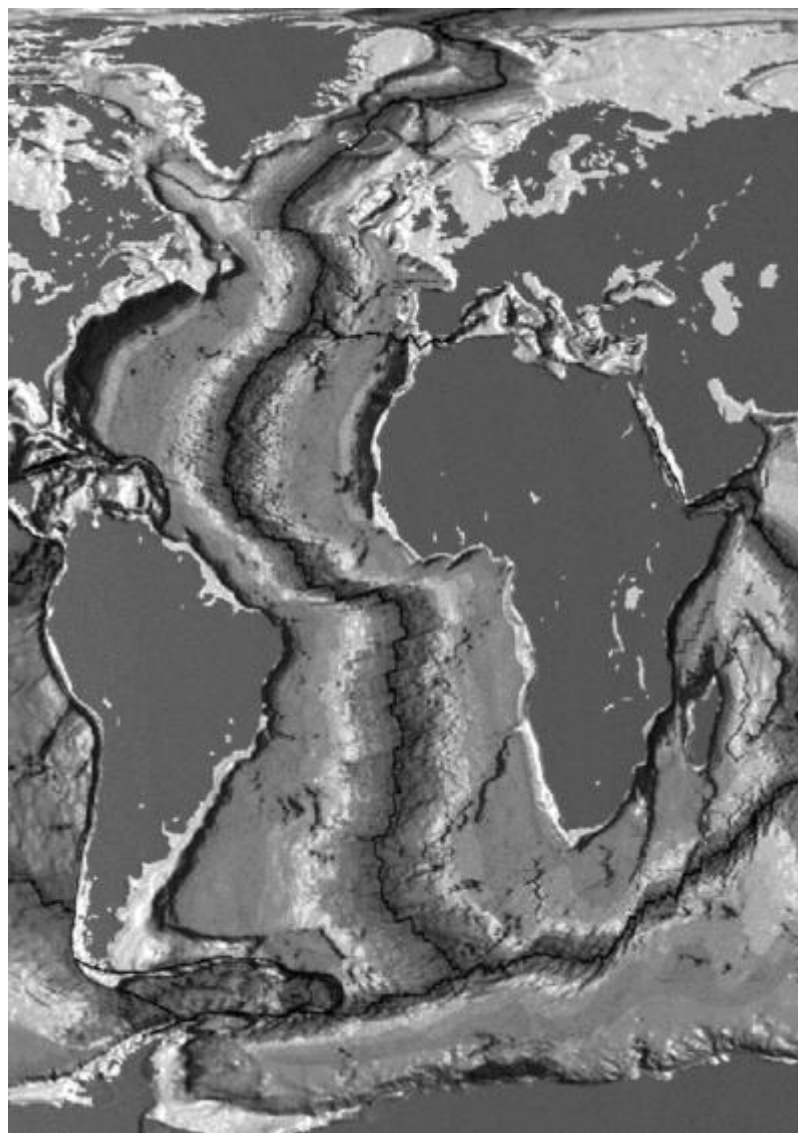
Рождение Южной Атлантики

Далекое прошлое нашей планеты хранит еще немало тайн. На протяжении десятилетий ученые пытаются восстановить картину движения материков, то сливавшихся в один суперконтинент, то дробившихся, будто весенние льдины.

Так, недавно они взялись реконструировать картину событий, происходивших еще в те времена, когда Южная Америка соединялась с западной частью Африки. Многие детали их «семейного разрыва» были до сих пор неясны. И прежде всего: как разделились два этих континента? И почему, скажем, юго-западное побережье Африки лежит сегодня почти на тысячу метров выше над уровнем моря, нежели его «бывшая половина» – обращенное к нему побережье Южной Америки?

Но обо всем по порядку! Итак, события, которые привели к этому географическому «перевороту», начались около 160 миллионов лет назад. Эта давняя история и стала темой исследований участников международного проекта *Sample*, стартовавшего в конце 2008 года. Они изучали прошлое южной части Атлантического океана.

Как уже говорилось, поверхность нашей планеты состоит из нескольких крупных и целого ряда небольших литосферных плит, которые в своем медленном, но беспорядочном движении задевают друг друга, сталкиваются, содрогаются. Классический пример взаимодействия плит – процессы, наблюдающиеся у западного побережья Америки.



Южная Атлантика – удивительный геологический архив, здесь лежат совершенно не потревоженными слои пород, накопившиеся за последние 160 млн лет

Здесь под него погружается небольшая плита Наска и его задевает громадная Тихоокеанская плита. Столкновение плиты Наска и Южно-Американской плиты уже породило самую длинную горную цепь на планете – Анды. Вдоль линии соприкосновения плит регулярно происходят землетрясения, извержения вулканов. Все это – результат того, что литосферные плиты меньше всего напоминают отшлифованные детали машины, работающей плавно, без перебоев.

Восточная оконечность плиты, на которой располагается Южная Америка, наоборот, не испытывает заметных потрясений. Дело в том, что различаются по крайней мере три типа границ между литосферными плитами. Выше приведены примеры конвергентной границы – того рубежа, где плиты сталкиваются, и трансформной границы, где плиты движутся параллельным курсом, задевая друг друга. А вот Африка и Южная Америка удаляются друг от друга – спокойно движутся в двух расходящихся направлениях. Подобную границу называют дивергентной. Она тянется вдоль подводных океанических хребтов.

Именно это делает Южную Атлантику особенно привлекательной для ученых, задавшихся целью исследовать ее прошлое. Как отмечает координатор проекта, немецкий геофизик Ханс-Петер Бунге, «здесь возник удивительный геологический архив, здесь перед нами

лежат совершенно потревоженными слои пород, накопившиеся за последние 160 миллионов лет, – они хранят память обо всех событиях, которые протекали в этом регионе планеты с тех пор, как началось зарождение южной части Атлантического океана». Это обстоятельство и помогает ученым подробно реконструировать историю этого океана (хотя бы одной его области). Помогает искать ответы на нерешенные пока вопросы.

Некоторые из вопросов касаются глобальной тектоники плит. Да, мы знаем кинематику этого процесса, то есть нам известно, что континенты дрейфуют и что отдельные плиты движутся со скоростью несколько сантиметров в год. Но мы не знаем конкретно, почему перепад высот между побережьем Африки и обращенным к нему побережьем Южной Америки так велик. А ведь когда-то, 200 миллионов лет назад, оба этих континента составляли единое целое, и, значит, те области, о которых мы говорим, граничили друг с другом и лежали на одной высоте.

Тогда, 200 миллионов лет назад, все современные материки были слиты воедино, образуя суперконтинент Пангею. Впоследствии он распался, и вот через 40 миллионов лет Южная Америка стала отделяться от Африки, а в образовавшееся между ними пространство устремились морские воды.

Как известно, по мере того, как плиты расходятся в стороны, зона разлома между ними заполняется веществом, излившимся из земных недр. Под его давлением плиты продолжают удаляться. В конце концов, Южная Америка и Африка оказались там, где они располагаются сегодня. Об их далеком прошлом напоминают теперь абсолютно одинаковые образцы пород и остатки древних животных, найденные на противоположных берегах этих материков. Относятся они к той эпохе, когда оба континента входили в состав Пангеи. Всё одинаково, всё совпадает, как части единого пазла, – кроме одного. Тот самый перепад высот между двумя побережьями, достигающий 1000 метров. Его причину следует искать, очевидно, в особенностях конвективных течений в мантии Земли – там, в глубине, во многих десятках километров от ее поверхности.

Собранные уже сейчас факты свидетельствуют о том, что глубоко под Южной Африкой вверх устремляется горячая мантийная струя, приподнимая эту часть континента над ближайшими к ней областями. Под Южной Америкой горные породы движутся в обратном направлении. Здесь сравнительно холодное вещество погружается в глубь Земли, словно затягиваемое водоворотом. Сравнение это не случайно. По мнению Бунге, этот «глубинный разворот» обусловлен тем, что по другую сторону Америки движется громадная Тихоокеанская плита. Она непомерно тяжела на фоне многих других литосферных плит, в том числе Южно-Американской и Африканской. Ее северный и западный края все дальше погружаются к центру Земли, невольно затягивая вместе с собой соседние массы вещества – и, возможно, вдавливая в глубь планеты всю Южную Америку.

Сейчас началась вторая стадия проекта *Sample*. Ученые обследуют дно Атлантического океана, а также участки суши на его побережьях, пытаясь отыскать зоны, где в далеком прошлом происходили процессы растяжения. Они типичны для случая, когда две соседние плиты удаляются друг от друга.

Так, на территории Бразилии, в бассейне реки Парана, а также на побережье Намибии найдены базальтовые породы, излившиеся из недр Земли на ее поверхность в виде раскаленной лавы около 160 миллионов лет назад, когда эту бывшую окраину Пангеи рассек рифт, разделивший два будущих материка. Под дном океана, в районе островов Тристан-да-Кунья – расположенных именно там, где протянулся Южно-Атлантический хребет, от которого, как от стартовой полосы, разбегаются Африка и Южная Америка, – похоже, обнаружен восходящий поток горячего мантийного вещества. Как полагают многие ученые, когда-то подобные потоки прорезали каменную твердь и разбросали в стороны две половинки – две литосферные плиты.

Ученых интересует и многое другое – самые разные особенности движения континентов и как они сказываются на состоянии всей нашей планеты. Как, например, изменился характер морских течений в Мировом океане после того, как Южная Америка отделилась от Африки? Как это событие сказалось на климате нашей планеты? Как шло накопление громадных бассейнов осадочных пород, приносимых в Южную Атлантику крупнейшими реками обоих материков? Как это повлияло на месторождения нефти, которые обнаруживаются именно в таких седиментационных бассейнах? Как, наконец, менялись русла рек Южной Африки? Это особенно любопытно потому, что здесь, например на реке Оранжевой, обнаруживают очень крупные алмазы. Не связано ли это с тем, что под напором мантийного потока эта часть Африки неуклонно приподнимается?

Возможно, собранные сведения позволят ответить на многие заданные здесь вопросы. Южная Атлантика вновь рождается на наших глазах – по всем правилам науки.

Парк юрского периода

В самом начале юрского периода (201—135 миллионов лет назад) все континенты еще составляли единое целое – огромный суперконтинент, который назывался Пангея. Тогдашний же климат напоминал парник.

Если сравнивать геологические эпохи с возрастом человека, то юрский период можно назвать временем юности – той важнейшей порой, когда определяется вся дальнейшая судьба. Вот и у нашей планеты была своя бурная «юность». Именно тогда, в юрском периоде, на карте мира проступили очертания современных нам океанов и континентов. Положение одних впоследствии еще не раз переменится, другие сильно раздуются в размерах. Но в том или ином виде они сохранятся до наших дней. Тогда же, в пору безграничного, казалось бы, господства динозавров, начнет формироваться и наш нынешний животный мир – появятся млекопитающие и птицы. Удивительная эпоха! Без знания ее невозможно понять, как возник мир, который нас окружает.

Итак, в юрском периоде начала распадаться Пангея, объединившая за 100 миллионов лет до этого всю тогдашнюю сушу. Теперь суша разламывалась вдоль громадных рифтов, целая система которых образовалась к началу этого периода. Эта система, разделившая Северную Америку и Северо-Западную Африку, стала быстро заполняться морскими водами. Так возникла центральная часть современного Атлантического океана.

Климат в то время был настолько теплым, что льдов не осталось даже на полюсах Земли; в средних же широтах было так же тепло, как в наши дни в тропиках и субтропиках. К слову, в юрском периоде в окрестностях географических полюсов не было вообще никакой суши.

При одном лишь упоминании этой эпохи в нашей памяти всплывает фильм Стивена Спилберга «Парк юрского периода». Каким же был наяву этот парк? Ведь многое в фильме возмущает палеонтологов. Достаточно сказать, что режиссер – ради вящей эффектности – перенес в юрский период знаменитых динозавров мелового периода: тираннозавра и велоцираптора.

Разумеется, динозавры являлись бесспорными хозяевами суши в юрском периоде. Наиболее крупные из них достигали в длину 25 метров и весили более 100 тонн. Это были самые громадные животные, когда-либо населявшие сушу. Но так ли хорошо мы знаем их?

Еще несколько десятилетий назад их считали вялыми, малоподвижными исполинами. Но между тем наши представления об обитателях «парка юрского периода» разительно изменились. Так, исследования их ископаемых останков выявили, что костная ткань динозавров была пронизана многочисленными кровеносными сосудами. Это позволило предположить, что показатели обмена веществ у динозавров были примерно такими же, как у птиц, которые ведут свое происхождение именно от них. Может быть, многие динозавры являлись теплокровными животными?

Самым опасным хищником в ту эпоху был аллозавр. В верхнем юрском периоде он населял Северную Америку и Южную Европу. По своим размерам он не уступал хорошо известному нам хищнику мелового периода – тираннозавру. Он достигал 12 метров в длину и весил несколько тонн. Вооружен был этот хищный ящер зубами длиной 15 сантиметров и острыми, словно ножи, когтями на передних лапах. Он мог справиться даже с громадным брахиозавром, чья длина тела превышала 20 метров.



В юрском периоде, в пору безграничного господства динозавров, начнет формироваться и наш нынешний животный мир – появятся млекопитающие и птицы

Впрочем, ученые продолжают спорить об образе жизни аллозавра. Одни считают его пожирателем падали, другие – ловким охотником: объединившись в стаю, эти ящеры могли бы нападать на значительно более крупных животных. Строение черепа аллозавра подтверждает вторую версию: он гораздо прочнее, чем требуется падальщику. Такие нагрузки, которые он способен выдержать, возникали только тогда, когда приходилось разрывать еще живого, трепещущего ящера. Впрочем, пока нет надежных доказательств того, что аллозаавры загоняли добычу стаей. Кем же он все-таки был, этот «царь животных» той эпохи?

Самым же известным представителем фауны юрского периода был, пожалуй, археоптерикс. Наличие оперения и крыльев выдает в нем птицу. Это – наиболее древняя птица, известная ученым. Ее возраст – 140 миллионов лет. Судя по строению зубов, таза и хвоста (наличие костей), она состояла в очевидном родстве с динозаврами. Так, у археоптерикса еще отсутствовал роговой чехол клюва – тот представлял собой вытянутую челюсть, усеянную мелкими, острыми зубами.

Но вот вопрос: умела ли летать первоптица? Одни ученые полагают, что благодаря своим мощным когтям археоптерикс взбирался на дерево и, бросившись с ветки, парил в воздухе, постепенно опускаясь на землю. Однако палеоэкологические исследования показали, что в том районе Германии, где впервые были обнаружены останки археоптерикса, именно в то время, когда там обитала первоптица, установился жаркий, сухой климат и, вероятно, не было никаких лесов – там нельзя было встретить даже дерева. Может быть, археоптерикс бросался с утесов, высившихся на берегу моря, и подолгу кружил в воздухе, слетая вниз? В 1999 году на страницах *Nature* появилась статья, авторы которой предположили, что археоптерикс мог взлетать даже с ровного места – с земли.

Трудно найти сколько-нибудь образованного человека, который не слышал бы имя археоптерикса, хотя на сегодняшний день обнаружено всего 11 более или менее хорошо

сохранившихся его скелетов. Последняя находка сделана в 2011 году. Имя ее автора, как и место, где на этот раз отыскивали скелет первоптицы, пока хранятся в тайне.

Теперь мы знаем, что гораздо ближе к современным птицам был конфуциусорнис, живший на 10 миллионов лет позже, уже в меловом периоде. Ископаемые остатки этой птицы величиной 30 сантиметров были обнаружены в 1993 году близ китайского города Бэйпiao (провинция Ляонин). Два года спустя описание находки появилось на страницах Chinese Science Bulletin. Эта птица получила название *Confuciusornis sanctus*, «священная птица Конфуция». Как оказалось, местность, где было сделано открытие, изобиловала остатками ископаемых птиц. Уже к 2000 году было найдено свыше тысячи экземпляров, относящихся к роду *Confuciusornis*. Еще какое-то количество их было похищено нелегальными «копателями».

Различные исследователи по-разному оценивают способность конфуциусорниса к полету. Ведь на его передних конечностях сохранились мощные, изогнутые когти. Это наводит на мысль о том, что эта птица еще не способна была взлетать с земли. Она карабкалась по деревьям, а затем прыгала с ветки и перелетала куда-нибудь. С другой стороны, судя по строению задних конечностей, ей было трудно цепляться ими за ветки. Кроме того, длинные маховые перья мешали ей лазить по дереву. Возможно, конфуциусорнис все-таки мог, разбежавшись, взлетать прямо с земли?

Кстати, еще одно открытие, сделанное в 2011 году, грозит окончательно поставить крест на «карьере» археоптерикса, ставшего первой в истории птицей. В Китае, в той же провинции Ляонин, были найдены остатки ящера, напоминавшего первоптицу. Анализ показал, что археоптерикс, как и его «двойник», *Xiaotingia zhengi*, в некоторых отношениях ближе таким ящерам, как дейнонихозавры, чем позднейшим птицам, сообщает Nature. Неужели придется вычеркнуть археоптерикса из числа птиц? А может быть, надо причислить к птицам еще и дейнонихозавров?

...Завершался же юрский период тем же, чем и начинался, – распадом громадного континента, на этот раз Гондваны. Уже к концу этого периода Африка, Антарктида и Индия оказались разделены океаном.

Парник мелового периода

В меловом периоде (135—65 миллионов лет назад) на Земле царил чрезвычайно жаркий климат. Во второй его половине (100—65 миллионов лет назад) вся планета превратилась в один громадный парник. Атмосфера Земли насытилась углекислым газом. Его содержание в 3—6 раз превышало современные показатели. Причиной были, прежде всего, многочисленные извержения вулканов, происходившие в зонах разлома континентов. Как же жилось обитателям нашей планеты – а тогда на ней господствовали динозавры – в эпоху глобального потепления?

В то время даже северные районы Аляски были покрыты пышной растительностью. Здесь произрастали папоротники, гинкго, хвойные деревья, цветковые растения. К северу от полярного круга, как показывают находки, водились крокодилы.



Меловой период по праву считается одной из самых теплых эпох, которые когда-либо знала Земля

Из-за отсутствия льдов в полярных областях характер морских течений был совершенно иным. Мировой океан в буквальном смысле слова был тихим, инертным. Вода плохо перемешивалась, а потому в глубинах океана ощущалась явная нехватка кислорода. Органический материал, опускавшийся на дно, – прежде всего, одноклеточные водоросли – практически не разлагался. Из-за избытка органики стремительно размножались водоросли и бактерии. Их было так много, что кислород перестал поступать в глубь морей. Это привело к массовому вымиранию морских животных.

Меловой период, как и предшествовавший ему юрский период, был царством рептилий. Они заселили практически все ниши, имевшиеся на планете. Им принадлежали суша, вода и воздух. Пожалуй, самыми известными из них были динозавры. Всего на сегодняшний

день известно свыше 860 видов динозавров. Вместе с летающими ящерами (птерозаврами) и крокодилами они составляют подкласс архозавров – наиболее обширную и разнообразную группу пресмыкающихся, которая господствовала в меловом периоде. Эти ящеры являются предками современных птиц.

К числу самых крупных хищников, которые когда-либо населяли нашу планету, относятся самые известные животные той эпохи – тираннозавры. Они достигали 13 метров в длину и 5 метров в высоту. Но даже они во многом все еще остаются загадкой для ученых.

Так, специалисты продолжают спорить об образе питания тираннозавра. Большинство палеонтологов считают, что он охотился на других животных. Известны, например, кости со следами укусов тираннозавра. Можно предположить, что эти находки свидетельствуют о жестоких схватках, в которых ящер расправлялся со своими жертвами.

Но некоторые ученые, в том числе Джек Хорнер, консультант фильма «Парк юрского периода», считают, что тираннозавр питался падалью. Какие же аргументы они приводят в поддержку своей гипотезы?

Передние конечности тираннозавра были очень короткими. Если бы, преследуя добычу, он упал, то ему чрезвычайно трудно было бы подняться. Зубы тираннозавра не напоминали кинжалы, как у других хищных динозавров; они были закруглены. Такие зубы, скорее, нужны для размалывания костей и хрящей. В головном мозге тираннозавра был чрезвычайно развит обонятельный центр. По мнению Хорнера, *Tyrannosaurus rex* мог почувствовать запах падали с расстояния 40 километров. Его ноги не годились для того, чтобы преследовать добычу или стремительно нападать на нее, а ведь во время охоты ему постоянно приходилось бы совершать рывки. Зато на таких ногах легко было преодолевать большие расстояния в поисках падали.

Впрочем, чистые падальщики в природе редки. Как правило, животные, которые питаются падалью, готовы при случае расправиться с мелкой добычей. Кстати, расположение глаз у тираннозавра типично для тех животных, которые занимаются охотой. Глаза посажены близко друг к другу, а потому тираннозавр видел жертву обоими глазами одновременно и мог легко оценить расстояние до нее.

...В самом конце мелового периода произошла одна из наиболее страшных катастроф в истории нашей планеты. Тогда погибло множество видов животных. С лица Земли исчезли динозавры, птерозавры, плезиозавры и мозазавры (гигантские морские ящерицы), в то время как крокодилы, черепахи, ящерицы и змеи выжили.

Ученые выдвигают самые разные гипотезы, пытаясь объяснить этот феномен. Многие полагают, что причиной всему стало падение громадного метеорита на мексиканский полуостров Юкатан. Возможно также, что значительный урон флоре и фауне нанесли мощные вулканические извержения, происходившие тогда же, около 66 миллионов лет назад, на базальтовом плато Декан в Индии. Впрочем, палеонтологи давно спорят о том, не оказались ли динозавры на грани вымирания еще до этих событий.

Мы искренне полагаем, что все динозавры – на одно лицо. На самом деле эти животные чрезвычайно разнились – по своему внешнему виду, размерам, питанию и образу жизни. И вымерли они отнюдь не одновременно, и причины вымирания разных их видов могли быть свои. В этом нас убеждают результаты недавних исследований.

Примечательно, что в канун катастрофы, увенчавшей меловой период, многие виды динозавров, как выясняют палеонтологи, процветали. Разнообразие их форм по-прежнему было велико. Это касается и хищников, в том числе тираннозавров и коэлурозавров, и небольших травоядных динозавров, и динозавров, обитавших в Азии. Как полемично говорят некоторые палеонтологи, если бы не та экологическая катастрофа, то динозавры наверняка бы еще населяли нашу планету. В таком случае на Земле не нашлось бы места ни обезья-

нам, ни людям. Эти высшие формы млекопитающих просто не могли бы беспрепятственно развиваться.

Вероятно, процветавшие виды динозавров и впрямь стали жертвами глобальной катастрофы, другие же к этому времени почти вымерли. Так, численность некоторых крупных травоядных ящеров к концу мелового периода заметно сократилась. Например, за последние 12 миллионов лет мелового периода уменьшилось количество гадрозавров и цератопсов (рогатых динозавров). Впрочем, сделанные выводы касаются лишь животных, населявших Северную Америку. В Азии же, например, ничто не говорило о скором исчезновении гадрозавров. Очевидно, процессы, которые привели к вымиранию динозавров, были куда более сложными и разнообразными, нежели мы привыкли считать.

Палеонтолог из Цюрихского университета Маркус Клаус, автор исследования о динозаврах, опубликованного на страницах журнала *Royal Society Biology Letters*, так объясняет тогдашние события: «После глобальной катастрофы, длившейся чрезвычайно долго – такой, как падение метеорита, – все экологические ниши, в которых могли бы обитать очень крупные животные, на целые тысячелетия оказались уничтожены». Ведь многие растения так и не оправились от этой катастрофы, исчезли. Теперь для крупных травоядных животных просто не хватало пищи. С их неизбежным вымиранием лишились добычи и крупные хищники. Мелкие же млекопитающие, которым пищи требовалось совсем не так много, могли выжить и в таких суровых условиях, питаясь либо травой, либо насекомыми и другими беспозвоночными. Конечно, конкуренцию в борьбе за оставшиеся экологические ниши им могли бы составить мелкие динозавры, но к концу мелового периода многие их виды уже вымерли – в борьбе за добычу их давно вытеснили... детеныши крупных хищных динозавров.

Как бы то ни было, ученые не могут до сих пор найти убедительного ответа на вопрос: почему множество мелких млекопитающих благополучно пережили падение метеорита на Юкатан, а из сотен видов динозавров не уцелел ни один? Почему?

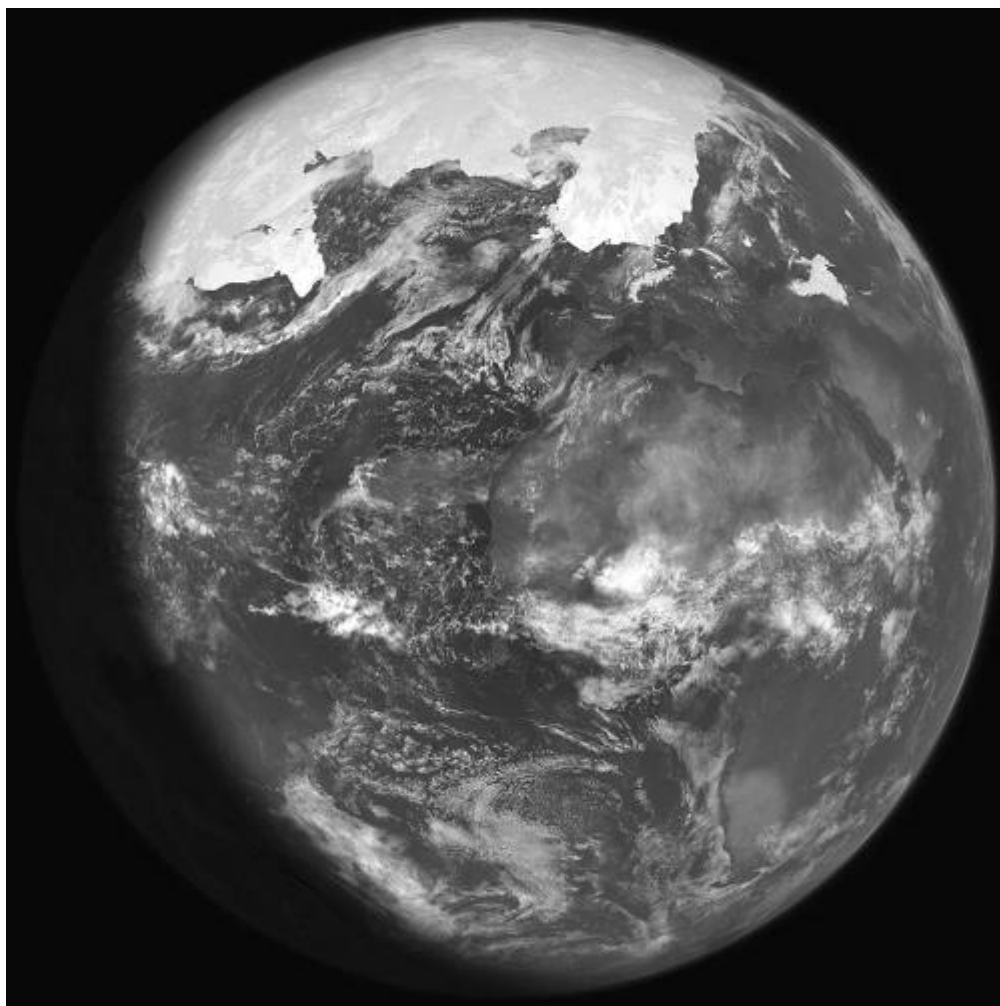
Почему наступают ледниковые эпохи?

В далеком прошлом Земля не раз переживала длительные периоды оледенений, иногда покрываясь ледниками вплоть до экватора. О подлинных причинах тех событий ученые продолжают спорить и теперь. Почему льды вдруг начинали продвигаться из полярных областей в умеренные широты? Сколько раз такое случалось в истории нашей планеты? Почему вслед за ледниковыми эпохами наступали периоды потепления? И когда на Земле вновь изменится климат и ледники опять устремятся в умеренные широты?

Насколько нам известно, древнейший ледниковый период наступил на Земле около 2,4 миллиарда лет назад. Следы так называемого гуронского оледенения обнаружены в Канаде, Финляндии, США, Южной Африке и Индии.

А что было до этого? Геофизик из Стэнфордского университета Норман Слип предположил, что Земля впервые покрылась льдами еще около 4 миллиардов лет назад, то есть вскоре после своего возникновения. В последующие 2 миллиарда лет подобные события не раз повторялись. По гипотезе Слипа, это могло быть вызвано тем, что содержание парниковых газов в атмосфере Земли катастрофически снижалось после падения очень крупных метеоритов или же в результате процессов глобальной тектоники. В те времена на большей части планеты царила адская жара, а потому именно среди льдов, вероятнее всего, зародилась жизнь.

В позднем протерозое Земля пережила несколько периодов очень сильного оледенения, когда она буквально превращалась в «снежный ком». После того как планета, наконец, освободилась ото льдов, очередная ледниковая эпоха наступила лишь в ордовикском периоде. В то время громадный южный континент Гондвана, впоследствии вошедший в состав Пангеи, приблизился к Южному полюсу. Именно на территории современной Сахары и Северо-Западной Африки, оказавшихся в ту пору в окрестностях полюса, обнаружены следы тогдашнего оледенения. Возможно, оно и способствовало массовому вымиранию всего живого, которое произошло около 440 миллионов лет назад.



Земля не раз переживала длительные периоды оледенений, иногда покрываясь ледниками вплоть до экватора

В следующий раз Гондвана приблизилась к Южному полюсу около 300 миллионов лет назад. Тогда льды на долгое время сковали другие ее области – Аравийский полуостров и Индию. Через 20 миллионов лет размеры территории, покрытой ледниками, как полагают, значительно превысили площадь современной Антарктиды.

В юрском и меловом периодах на Земле установился жаркий климат. Но в последние 2,5 миллиона лет на планете регулярно повторялись периоды оледенений, сменявшиеся длительными потеплениями. Во время первых средняя температура была на 10—15° ниже, чем сегодня, а в пору потеплений – такой же, как и теперь. По оценке ученых, за это время климат более 20 раз менялся с холодного на теплый и наоборот.

Двадцать тысяч лет назад, в период вислинского оледенения, площадь, занимаемая ледниками во всем мире, была в три раза больше, чем теперь. Обширные области Северной Европы и Северной Америки были покрыты слоем льда, иногда достигавшим в высоту почти 3 километров.

Но вот уже 10 тысяч лет Земля вновь переживает эпоху потепления. К тому же в последние два столетия, с начала промышленной революции, средняя температура на планете вновь стала расти. Ледники отступают, тают даже льды Гренландии и Антарктиды. Но что будет «послезавтра»?

Загадка ледниковых эпох еще и теперь окончательно не решена. Ученые не могут объяснить, почему периоды оледенения регулярно повторяются – уж слишком сложны про-

цессы, влияющие на климат нашей планеты, и слишком плохо мы знаем, каким был климат в далеком прошлом, для того чтобы мы могли описать эти процессы.

Возможно, причину наступления ледниковых эпох надо искать не на Земле, а в окружающем ее космическом пространстве? Может быть, периодически колеблется количество тепла, получаемого нашей планетой от Солнца? Или меняются параметры орбиты и Земля то немного приближается к Солнцу, то удаляется от него? Или же покачивается земная ось?

Сегодня наклон земной оси по отношению к орбите составляет $23,5^\circ$. Однако эта величина периодически меняется от $22,3^\circ$ до $24,5^\circ$. Период колебаний составляет примерно 41 тысячу лет. Эти, казалось бы, незначительные изменения заметно влияют на времена года.

Кроме того, существуют циклы Миланковича. Еще в 1920—1930-х годах югославский геофизик Милутин Миланкович, проделав кропотливые расчеты, убедился, что в прошлом периоды потеплений и похолоданий на нашей планете во многом совпадали с тем, как менялось количество тепла, получаемого ею от Солнца.

Как предположил Миланкович, ледниковые эпохи наступают, когда количество тепла, которое получают в летний период области, лежащие в северных широтах, сводится к минимуму. А для разрастания ледников важнее, чтобы летние месяцы были холодными и выпавший за зиму снег не успевал растаять, нежели чтобы зимы были снежными.

Теперь ученые склонны рассматривать теорию Миланковича, скорее, как необходимое условие наступления ледниковых эпох, нежели их истинную причину. В самом деле, похолодание может начаться лишь, когда Земля находится в самой неблагоприятной части своей орбиты и получает солнечной энергии меньше, чем обычно. Но точный срок начала похолодания зависит от других факторов. Например, от процессов глобальной тектоники, а именно от движения континентов.

Когда в высоких широтах оказываются огромные континенты с вздымающимися на них горными системами, это меняет характер и воздушных, и морских течений, что может вызвать резкое изменение климата. Так, по мнению ряда ученых, одной из главных причин повторяющихся в последние миллионы лет оледенений стало то, что Антарктида переместилась в район Южного полюса. Если обратиться к далекому прошлому, то практически всякий раз, когда Земля покрывалась льдами, в окрестности одного из полюсов находился какой-либо континент.

Важнейшую роль в изменении климата играют и морские течения. Так, Северная Европа обязана своим мягким климатом Гольфстриму, омывающему ее. Если ледники, сковавшие сейчас Гренландию, растают и в северную часть Атлантического океана попадет большое количество пресной воды, то Гольфстрим, как показывают расчеты, может остановиться. Тогда всего за несколько лет температура в Северной и Центральной Европе заметно снизится. Наступит новый ледниковый период.

Причиной оледенений могут стать и катастрофические события. Не раз в истории нашей планеты на нее обрушивались крупные метеориты. После таких коллизий в атмосферу попадало громадное количество пыли и пепла. Эта завеса надолго закрывала небо, а потому Земля быстро остывала. Согласно расчетам, достаточно падения метеорита диаметром всего 10—15 километров, чтобы средняя температура понизилась на 20° и более.

Итак, нам по-прежнему неясно, почему наступают ледниковые эпохи. Уверенно можно сказать лишь следующее. Если раньше ледниковые эпохи считались внезапными катастрофами, которые были вызваны какой-то одной причиной, то теперь ученые исходят из того, что роковое стечение самых разных обстоятельств приводит к тому, что Земля время от времени покрывается льдами.

Как показывают расчеты, очередной ледниковый период мог бы начаться через полторы тысячи лет, если бы не большое количество парниковых газов, попавших в атмосферу в результате нашей промышленной деятельности. Но стоит ли этому радоваться? Человек

вмешался в череду природных циклов, которым подчинялась Земля. Это делает наше будущее непредсказуемым.

Ждем новую часть света: «Эфиопо-Кению»?

«Крупнейшей строительной площадкой нашей планеты» геологи называют Восточно-Африканскую зону разломов. Эта грандиозная система разломов (сбросов) и грабенов (рифтов) протянулась на 6000 километров от Красного моря на севере до побережья Мозамбика на юге. Ширина ее местами достигает 300 километров, а высота окаймляющих ее горных стен – 1000 метров. По обеим сторонам от нее высятся многочисленные вулканы. Самые известные из них – гора Килиманджаро и Маунт-Кения.

Эта область – самый настоящий шов Земли. Неужели рано или поздно шов разойдется? И Африка разломится на две части? Так ли это?

Во многих уголках нашей планеты, как и здесь, на востоке Африки, вздымаются вулканы, выплескиваются потоки лавы, дрожит земля. Но это не ведет к рождению новых континентов. А может, все происходящее здесь – лишь отголоски того катаклизма, что произошел 30 миллионов лет назад, когда Аравийский полуостров отделился от Африки?

Земля только кажется нам недвижимой, мертвенной. На самом деле в ее недрах непрерывно продолжаются тектонические процессы. Одни плиты задевают друг друга, и их сшибка отзывается мощными сотрясениями Земли. Края других плит, словно переносимые конвейером, погружаются в глубь планеты.

В Эфиопии сейсмическая активность особенно высока. Так, менее чем за год, с 25 сентября 2005 года, когда на севере страны, в районе впадины Афар, внезапно разверзлась огромная трещина длиной до полукилометра, шириной 1,8 метра и глубиной до 60 метров, до 25 августа 2006 года, здесь произошло 163 землетрясения, образовались сотни новых расселин. Местами участки земной поверхности опустились на сотню с лишним метров. Земля растрескивается, как стекло, в которое бросили камень. Сейсмическая активность здесь такая же, как в районе любого срединно-океанического хребта. Но почему?



Расщелина в Афарском треугольнике

Здесь, в Эфиопии, рождается послезавтрашний день Африканского континента. Здесь намечается разлом между двумя частями Африки. На первый взгляд он кажется продолжением линии, разделяющей Африканскую и Аравийскую литосферные плиты. Начинаясь в Аденском заливе, он пролегает параллельно южному побережью Аравийского полуострова. В Красном море, между границами плит, он предстает в виде грабена глубиной до полутора километров, наспигованного подводными вулканами. Здесь, как и в районе срединных хребтов в Тихом или Атлантическом океанах, образуется новая земная кора.

Поднимающаяся из недр Земли магма быстро затвердевает, раздвигая окружающие ее плиты. Они расходятся со скоростью до 2 сантиметров в год. Процесс спрединга – раздвижения двух плит – хорошо изучен на примере тонкой океанической коры. Он постоянно протекает в зоне срединно-океанических хребтов. Но такое возможно и на континентах, покрытых куда более мощной корой. Восточно-Африканская зона разломов – единственное место на нашей планете, где рождается новая континентальная кора. Это происходит на побережье Аденского залива.

Перед учеными воочию предстает то, что обычно скрыто от них глубоко под водой. Эта область планеты вызывает у них большой интерес. Здесь можно изучать процессы, которые сокрушили когда-то Лавразию, Гондвану и другие суперконтиненты Земли. Ведь пока ученым во многом неясно, как распадаются континенты. Здесь же их теоретические рассуждения воплощаются в жизнь.

Небольшая трещина, образовавшаяся некогда в Африканской плите, неуклонно расширяется по меньшей мере уже 20 миллионов лет. Однако за последние 2 миллиона лет происходящие здесь процессы заметно ускорились.

Начавшись на побережье Эфиопии, зона разломов минует теперь Аддис-Абебу, цепочку небольших озер и направляется к озеру Виктория. В виде гигантской буквы «ипси-лон» она протянулась через всю Восточную Африку. К северу от озера Виктория расположен, пожалуй, самый большой «перекресток» Африки. Здесь сходятся три основных грабена, разламывающие континент на части. Уже сегодня геологи, работающие здесь, говорят не о двух частях единой Африканской плиты, а отдельно о Нубийской (к западу и северу от зоны разлома) и Сомалийской плитах.

Пройдет еще 10 миллионов лет, уверены многие геологи, и на географической карте появятся два новых континента, расположенные на месте одного современного. Один будет состоять из Западной и Центральной Африки, а другой – из нынешней Восточной Африки. Между ними будет простираться новое море или даже океан. Вероятно, Нил окажется отрезан от своих истоков, а может, изменит направление своего течения и будет впадать в Индийский океан.

Некоторые ученые полагают, что Африка начала понемногу растрескиваться сразу после того, как около 160 миллионов лет назад от этого континента стала отделяться чуть ли не целая его половина – Южная Америка. По мнению других специалистов, земная кора начала разламываться здесь после серии катастрофических извержений вулканов.

Скептики же имеют на сей счет свое особое мнение. Они не согласны с тем, что нынешние события должны предвещать то, что случится через многие миллионы лет. Может быть, и впрямь мы имеем дело лишь с отголоском тех бурных процессов, что привели когда-то к отделению Аравийского полуострова от Африки? И вся нынешняя сейсмическая и вулканическая активность в Восточно-Африканской зоне разломов – лишь афтершок той великой катастрофы, породившей Красное море?

Пытаясь понять будущее, ученые еще дальше заглядывают в прошлое. Так, когда Южная Америка отделилась от Африки, этому тоже предшествовало появление тройной системы рифтов, соединявшихся в виде буквы «ипси-лон». Центр этой системы находился тогда в районе современного Гвинейского залива. Один ее рукав протянулся на запад, другой

– на юг, а третий – на северо-восток. Громадный континент разломился вдоль линии, образованной первыми двумя рукавами. Третий, протянувшийся посредине Африки, на протяжении миллионов лет был заполнен морем, но, когда уровень Мирового океана понизился, оказался отрезан от него и со временем пересох. Теперь об этом желобе шириной в 100 километров напоминает лишь мощный слой осадочных отложений, заполнивших его. Возможно, тектонические процессы утихнут и в восточной части Африки, и континент сохранит свои прежние очертания.

Характер движения современных литосферных плит также говорит против рождения нового материка, которому некоторые уже дали название «Эфиопо-Кения». Африка словно зажата в тисках. Атлантический океан понемногу расширяется. В зоне срединного хребта, пролегающего по его дну, постоянно рождается океаническая кора, и под ее давлением Африканская плита дрейфует на восток, перемещаясь со скоростью около 3 сантиметров в год. В свою очередь, Индо-Австралийская плита напирает на Африку с востока, сдвигаясь в западном направлении со скоростью почти 2 сантиметра в год. Даже если Африка разломится на две части, то, испытывая мощное давление с обеих сторон, эти части так и не отделятся окончательно друг от друга.

Впрочем, история нашей планеты не раз опровергала подобные теоретические выкладки. Так, 100 миллионов лет назад от побережья Восточной Африки оторвался миниатюрный континент – Мадагаскар и, несмотря на мощное противодействие той же Индо-Австралийской плиты, все-таки «отплыл» в сторону Индийского океана. Тогда давление магмы, изливавшейся при разломе континентальной коры, оказалось сильнее, чем противодействие соседней плиты, возвращавшей Мадагаскар на его «законное место».

Земля – это Гея?

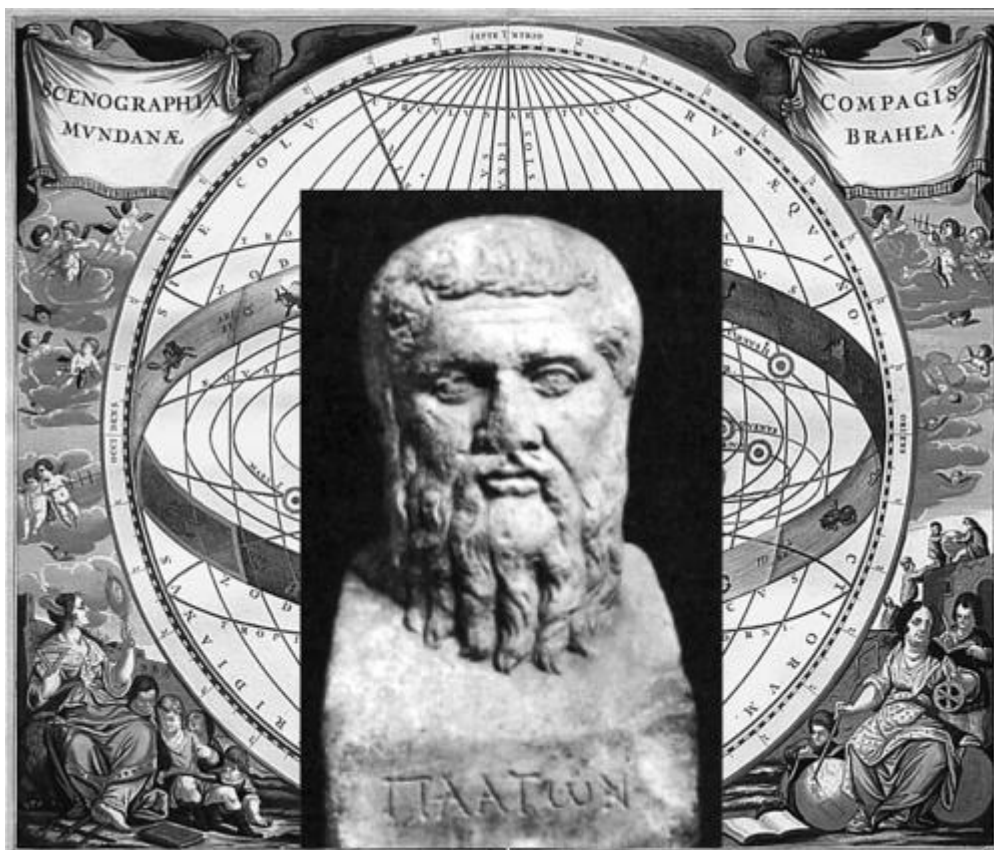
Что такое Земля? Каменный шар, покрытый растительностью, или живой организм? Быть может, наша планета реагирует на все, что происходит с ней? На все, что делает человек?

Еще в 1960-х годах эту странную гипотезу («Земля – живой организм») предложили американский микробиолог Линн Маргулис и британский химик, биофизик и медик Джеймс Лавлок. Тогда она стала предметом насмешек. Но со временем все больше ученых соглашались с этим радикальным взглядом на природу нашей планеты. Что побудило их переменить мнение? Какие доводы можно привести в поддержку этой на первый взгляд безумной идеи?

Когда-то древнегреческий философ Платон утверждал, что Космос более всего похож на живое существо и все остальные существа являются лишь его частью. Две тысячи лет спустя, в XVIII веке, Джеймс Геттон, один из отцов современной геологии и медик по образованию, также описывал Землю как «сверхорганизм», как особую «физиологическую систему».

Но на протяжении последних столетий ученые, и верно, привыкли относиться к Земле как к мертвому каменному шару, который, повинаясь законам механики, кружит по просторам Вселенной. Однако в XX веке это механистичное мировоззрение было поколеблено. Одной из гипотез, пробивших брешь в бастионе науки, которая вознесла человека в центр мироздания, стала гипотеза Геи (она названа так в честь греческой богини Земли). В чем ее суть?

В 1979 году в своей книге «Гея: новый взгляд на жизнь на Земле» Лавлок писал: «Гея – сложная, целостная система, которая охватывает земную биосферу, атмосферу, океаны и почву. В своей совокупности она образует кибернетическую систему, которая стремится к тому, чтобы на нашей планете установились оптимальные физические и химические условия». Земля, как любой организм, способна к саморегуляции. Неужели земная твердь – это одно огромное живое тело?



Платон утверждал, что Космос более всего похож на живое существо, и все остальные существа являются лишь его частью

Как же протекают процессы саморегуляции на нашей планете? Главная цель Земли-Геи – поддерживать условия, необходимые для сохранения и развития жизни. Природа не заботится о благе какого-то одного вида, пусть даже тот и считает себя ее «венцом».

Основными параметрами, на которые способна влиять Земля, являются средняя температура на планете, состав атмосферы и соленость Мирового океана. В их регуляции деятельно участвуют и живые организмы. Лишь за счет взаимодействия живой и неживой материи достигается обратная связь. Как это происходит? Как, например, регулируется температура?

Со времени возникновения Земли количество солнечного света, получаемого ею, возросло примерно на четверть, но средняя температура на планете повысилась не так значительно. Важнейшую роль в ее регуляции играет такая характеристика, как альбедо – способность земной поверхности отражать падающий на нее свет. Зависит альбедо от разных причин – от площади, занимаемой льдами в высоких широтах, от облачности, а всё это, в свою очередь, обусловлено целым рядом факторов.

И тут многое определяется организмами, населяющими планету, прежде всего фитопланктоном. Многочисленные крохотные водоросли не только потребляют углекислый газ, но и выделяют диметилсульфид. Его частицы служат центрами конденсации облаков. Когда наступает период потепления, водоросли разрастаются, и в атмосферу попадает все больше диметилсульфида. Земля окутывается облаками, которые отражают все больше солнечного света, а потому средняя температура вновь понижается. Это лишь один из факторов, влияющих на температуру на Земле. Наша планета, можно сказать, – это живой термостат.

Другой пример. Почему соленость Мирового океана остается неизменной? Сегодня этот показатель составляет примерно 3,4 %, что оптимально для морских животных. Если

бы соленость превысила 4 %, это привело бы к массовому вымиранию всего живого в морях, поскольку нарушилась бы нормальная жизнедеятельность клеток – основы основ любых организмов. Очевидно, на протяжении миллионов, если не миллиардов лет показатель солености морской воды почти не менялся.

Но почему? Ученые подсчитали, что ежегодно вместе с речной и дождевой водой в моря попадает около 2,75 миллиарда тонн минеральных солей. Речные потоки и струи дождя вымывают их из горных пород и осадочных отложений. И так, количество соли в морях из года в год прибывает, а степень солености воды ничуть не меняется, оставаясь значительно ниже критической величины. Даже катастрофические события – падения крупных метеоритов или длительные эпохи оледенения – не нарушали работу этого таинственного механизма, который ограничивает количество соли в морях.

Очевидно, есть некая система регуляции, поддерживающая соленость морской воды на неизменном уровне. Как выяснилось, ключевую роль играют такие микроорганизмы, как кокколитофориды – одноклеточные водоросли, важнейшие продуценты органического вещества в морях и океанах. Они и накапливают соли кремниевой кислоты или углекислый кальций в своих известковых пластинках, которые после их отмирания опускаются на дно. Именно из них и сложены мощные – высотой в несколько сотен метров – пласты известняков, образующие современные океанические отложения и материковые породы. Так, соль, пополняющая воду морей и океанов, изымается из нее, и благодаря этому солевой баланс поддерживается в равновесии.

Еще один пример: содержание кислорода в атмосфере. Кислород легко вступает в реакцию с другими веществами и изымается из воздушной оболочки. Тем не менее количество атмосферного кислорода на протяжении многих миллионов лет остается на неизменном уровне. Свидетельством тому – воздушные включения, которые обнаруживают в янтаре или образцах льда, извлеченных с большой глубины, например из гренландских ледников. Состав этого «доисторического» воздуха мало чем отличается от состава современного воздуха. Авторы гипотезы объясняют этот удивительный факт тем, что биосфера Земли – совокупность живых организмов, населяющих нашу планету, – сама поддерживает концентрацию кислорода на неизменном уровне.

В принципе, человек – единственный вид животных, способный ради своего блага вмешиваться в «процессы обмена веществ», протекающие на Земле. Наш шанс – в том, что мы поймем суть этих процессов и научимся влиять на них для того, чтобы поддерживать спасительное для всего живого равновесие.

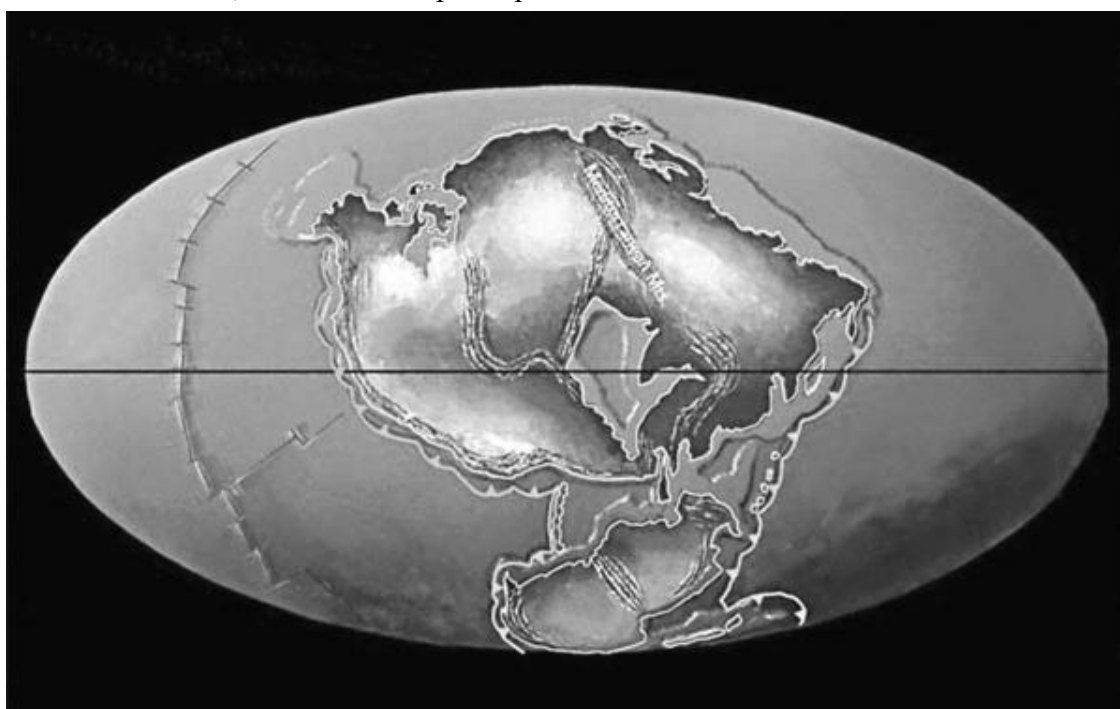
Между тем в 2006 году Лавлок выпустил свою, пожалуй, самую пессимистичную книгу: «Месть Геи. Почему Земля защищается?» По его мнению, в ближайшие десятилетия нас ждет резкое и бесповоротное изменение климата. Льды в Арктике окончательно растают. Если сейчас ледяной щит, который сковывает Северный океан, отражает до 90 % падающих на него лучей, то после его таяния вся эта солнечная радиация будет поглощаться морской водой и способствовать дальнейшему разогреву планеты. К концу XXI века, полагает Лавлок, миллиарды людей погибнут из-за климатической катастрофы. Немногие уцелевшие переберутся в полярные области, где еще можно будет жить. До сих пор, подчеркивает ученый, механизм саморегуляции Земли лишь способствовал выживанию человека. Но теперь, когда «чудодейственный прогресс» наделил нас невиданной прежде мощностью и нам уже по силам уничтожить всю планету, человек стал опасен для Земли.

Остановить происходящее невозможно. Выбросы в атмосферу парниковых газов продолжают нарастать, и это приведет нашу цивилизацию к такому же печальному концу, который когда-то был уготован и динозаврам.

Каким будет мир через сотни миллионов лет?

Через каждые полмиллиарда лет все континенты сходятся воедино. Впрочем, до сих пор неясно, где произойдет их очередная «встреча». За последние десятилетия ученые весьма точно определили скорость и направление перемещений, которые потихоньку совершают континенты. Но позволит ли это понять, как будет выглядеть мир через сотни миллионов лет?

По одной из гипотез суперконтиненты неизменно образуются в одной и той же области нашей планеты. В свое время Атлантический океан возник после того, как вначале Пангея, а потом и ее обломок, Гондвана, распались на отдельные части. Сейчас Африка и Южная Америка неуклонно дрейфуют, каждый год отдаляясь друг от друга еще на несколько сантиметров. Но если когда-нибудь они повернут вспять, то со временем снова сомкнутся, расположившись там же, где когда-то простиралась Пангея.



Будущая Земля может быть такой

Эта гипотеза лежит, например, в основе модели, которую несколько лет назад представил геофизик Кристофер Скотезе из Техасского университета. По его расчетам, через 40 миллионов лет Австралия столкнется с Юго-Восточной Азией. В последующие 25—75 миллионов лет она, сместившись поначалу в сторону Индонезии и Малайзии, повернется против часовой стрелки, надвинется на Филиппины и окончательно сольется с Азией.

Африка расколется на две части. Восточная ее часть сольется с Индией, а весь остальной континент поплывет на север. Примерно через 50—60 миллионов лет Африка и Европа соединятся. Их столкновение породит новую горную систему, Средиземноморские горы — такие же высокие, как Гималаи. Само Средиземное море исчезнет, а на карте появится новый континент — Афразия. Кстати, в результате этой коллизии современная Евразия немного повернется по часовой стрелке. Так что Сибирь будет располагаться южнее, чем теперь.

Антарктида же начнет перемещаться на север, постепенно теряя льды. За 100 миллионов лет она пересечет Индийский океан и еще через 50 миллионов лет вклинится между Мадагаскаром и Индонезией. После этих «перестановок» Индийский океан станет «внут-

ренним морем». Таяние ледяного щита Антарктиды приведет к тому, что уровень Мирового океана повысится метров на сто. Под водой скроются дельты всех современных рек. Будет затоплена Амазонская низменность.

Вообще же будущее Америки предсказать сложно. Сейчас эта часть света каждый год удаляется от Европы и Африки еще на несколько сантиметров. Однако Скотезе полагает, что через 50 миллионов лет Америка развернется и начнет дрейфовать в сторону Афразии, поскольку на западной окраине Атлантического океана образуется зона разлома, которая протянется с севера на юг. Примерно через 200 миллионов лет с Африкой столкнется Ньюфаундленд, а через некоторое время и Бразилия примкнет к Южной Африке. Южноамериканский континент повернется вокруг мыса Доброй Надежды, словно гимнаст, выполняющий упражнение на перекладине, и своими «ногами» – Патагонией – дотянется до Индонезии.

Пройдет еще 50 миллионов лет, и почти все части суши сольются воедино. Возникнет новый суперконтинент. По гипотезе Скотезе, он будет напоминать собой огромный бублик, поскольку материки, соединившись, образуют кольцо. Ученый дал ему название *Pangda Proxima*, «Пангея Следующая». Расстояние от Пекина до Буэнос-Айреса сократится вдвое. Нигерия окажется рядом с США. Австралия, по одной версии, расположится возле Южного Китая, а по другой версии, соединится с Антарктидой и окажется чуть в стороне от суперконтинента, к югу от него.

А может быть, никакого поворота материков (в частности, Америки) и не произойдет? Место их встречи перемещается по поверхности планеты, а потому обломки распавшейся некогда Пангеи, совершив оборот вокруг Земли, снова соберутся воедино уже на другом ее конце. В таком случае Атлантический океан продолжит расширяться, а Америка – двигаться в сторону Азии.

Эта гипотеза лежит в основе моделей будущего, которые представили австралийский геофизик Сергей Писаревский, а также Рой Ливермор из Кембриджского университета и Пол Хофман. В их расчетах Америка и впредь будет двигаться в том же направлении, что и теперь. В конце концов, это приведет к тому, что Тихий океан исчезнет. Северная и Южная Америка достигнут Азии и сольются с ней, образовав новый огромный континент – Амазию. Австралия переместится на север. Антарктида, по сценарию Писаревского и Хофмана, останется на том же месте, что и теперь. Ливермор же полагает, что она станет частью нового суперконтинента, который он назвал «Новопангея».

В 2012 году журнал Nature опубликовал еще одну гипотезу, предвещающую судьбу всех материков. Как полагает американский исследователь Росс Митчелл, новый суперконтинент будет располагаться под углом примерно 90° по отношению к своему предшественнику. Его центр окажется где-нибудь в Тихом океане. Зато Карибское море и Северный Ледовитый океан исчезнут.

В принципе, ученым известно не так много о том, где находились древнейшие суперконтиненты. Так, анализируя магнитные характеристики минералов, Митчелл и его коллеги пришли к выводу, что Пангея располагалась почти перпендикулярно по отношению к существовавшей до нее Родинии. По их мнению, такая необычная конфигурация вызвана тем, что через каждую пару сотен миллионов лет меняется характер движения твердого вещества в мантии нашей планеты, а именно оно и является тем транспортом, который перемещает континенты.

Уже сейчас всю идет строительство нового суперконтинента: Северная и Южная Америка надвигаются друг на друга, а остатки громадного южного континента – Гондваны – сближаются с Евразией. Некогда Индия состыковалась с ней, Африка стремится слиться с Европой, да и Австралия перемещается теперь на север.

Многое, конечно, может вмешаться в расчеты ученых, нарушить их. Что, если одна из плит когда-нибудь разломится, как это и происходит сейчас с Африканской плитой, и ее

обломки будут сталкиваться с другими плитами или сливаться с ними, перечеркивая скрупулезные выкладки геофизиков? Эти обломки могут даже изменить свое направление движения и вернуться туда, откуда и прибыли.

В любом случае появление нового суперконтинента разительно изменит климат нашей планеты. В «Пангее Предыдущей» климат был резко континентальный. Лето в умеренных широтах стояло очень жаркое, а зимой воцарялись 20—30-градусные морозы. В зимние месяцы Пангея утопала в снегах, а с приходом весны обширные области суши скрывались под водой.

Наконец, еще одна гипотеза переносит нас на миллиард с лишним лет вперед – в ту эпоху, когда на нашей планете уже успеют распасться два-три не рожденных пока суперконтинента. К этому времени недра Земли заметно остынут, вещество мантии будет все хуже перемешиваться, а значит, стихнет и движение плит. Кроме того, Солнце будет все сильнее прогревать поверхность Земли, поскольку его температура возрастет. Все океаны и моря испарятся, выкипит и испарится даже вода, которая содержалась в мантии и смазывала движущиеся плиты. Через 2 миллиарда лет Земля станет мертвой планетой.

А человечество? Оно исчезнет с лица Земли гораздо раньше. Увы, ни Бог, ни боги не защитят людей от императива биологии. Люди проиграют конкурентную борьбу некоторым другим видам животных, которым примутся помогать сами природные стихии. Так человек станет еще одним неудачником эволюции, пополнив список аммонитов, белемнитов и иже с ними.

В глубь планеты

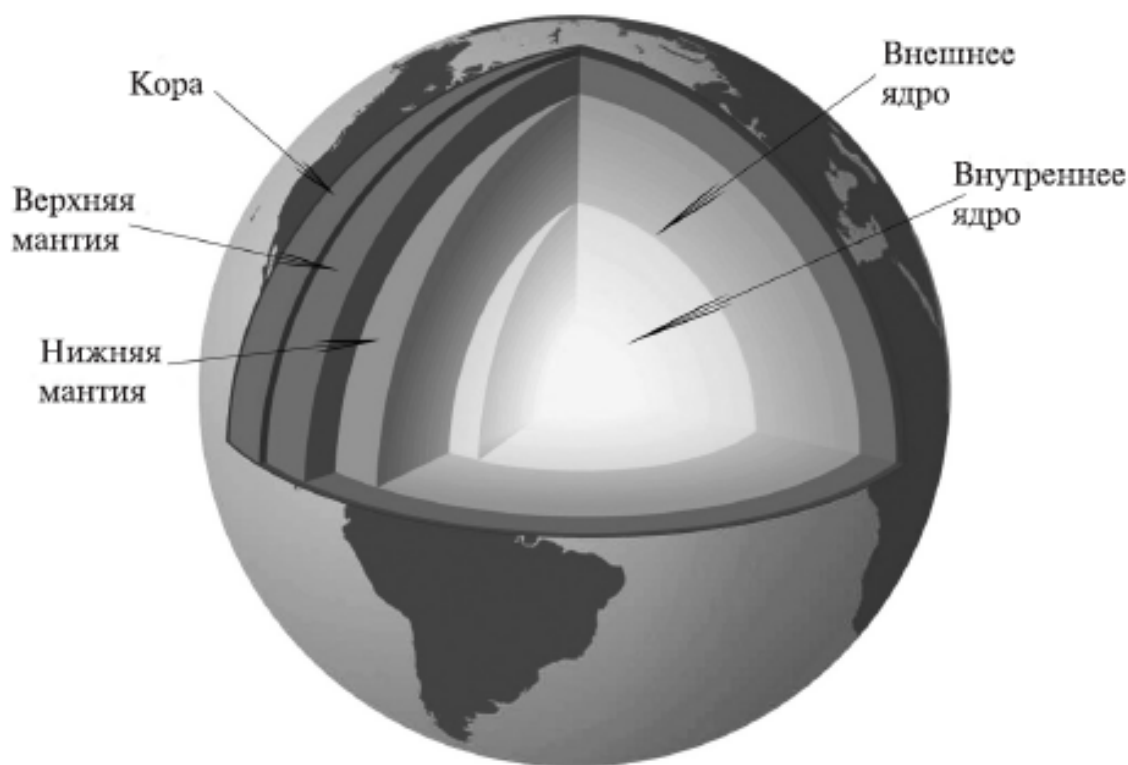
Путешествие к центру Земли

В романе Жюль Верна герои спускаются в кратер вулкана, чтобы достичь глубин нашей планеты. На самом деле в ее недрах царит адская жара, а потому ученые могут совершить лишь воображаемое путешествие к центру Земли, используя результаты спутниковых наблюдений, компьютерные модели, данные сейсмических исследований. Что же нового открывается им?

Земля покрыта тонкой оболочкой – корой, которая на суше гораздо мощнее, чем под океанами. Земная кора – лишь «кожа» нашей планеты. Многие геологические феномены «коренятся» не здесь – они обусловлены процессами, протекающими глубоко в недрах Земли, в ее мантии, на долю которой приходится 82 % объема всей планеты.

Исследование мантии принесет еще немало неожиданных открытий. Лишь верхняя ее часть как будто не таит ничего особенного. Вместе с корой она образует литосферу, состоящую из отдельных фрагментов – плит. Эта область Земли хорошо изучена. Но уже в 50—100 километрах от поверхности планеты начинаются загадки. Там простирается астеносфера. Она разделяет верхнюю и нижнюю, более плотную часть мантии и заканчивается на глубине 250—350 километров от земной поверхности. При распространении сейсмических волн она ведет себя как громадный амортизатор.

Почему это происходит? Объяснение кроется в свойствах мантии. Несмотря на то что этот слой разогрет до очень больших температур, он ничуть не является жидким. Горные породы, слагающие его, находясь под чудовищным давлением, остаются твердыми, но при этом становятся пластичными, даже текучими. И именно эти их свойства – пластичность, текучесть – обуславливают процесс конвекции, движущую силу важнейших геологических событий, совершающихся на планете. Без него невозможны были бы ни землетрясения, ни извержения вулканов. Конвекция вызывается перепадами температуры в мантии Земли. Этот круговорот вещества, как принято считать, обеспечивает движение литосферных плит. Но почему тогда их скорость так заметно разнится? В рамках традиционной теории глобальной тектоники плит ответить на этот вопрос не удастся.



Строение Земли

В 2010 году на страницах журнала Science появилась гипотеза американских и австралийских ученых (руководитель – Ваутер Шелларт), которая переворачивала с ног на голову прежние представления, зато объясняла, почему литосферные плиты движутся по-разному. Ее авторы обратили внимание на то, что плиты перемещаются тем медленнее, чем они меньше. Точно так же скорость субдукции зависит от размера плит, пропорциональна ему. Так, может быть, не скорость конвективных потоков в мантии, а размеры зоны субдукции задают темп движения плит? Чем шире эти разверзшиеся на дне океана проемы, тем быстрее в них исчезает земная кора. Очевидно, многие геологические процессы регулируются «сверху вниз», а вовсе не из недр Земли, как считалось прежде.

Эта гипотеза объясняет, почему Индо-Австралийская и Тихоокеанская литосферные плиты, а также плита Наска движутся заметно быстрее, чем Африканская и Евразийская плиты и плита Хуан-де-Фука. Она объясняет и движение исчезнувшей плиты Фараллон, которая почти полностью погрузилась в глубь мантии, а ее обломки продолжают поддвигаться под Северную и Южную Америку. За 50 миллионов лет скорость ее движения снизилась с 10 до 2 сантиметров в год. Очевидно, причина в том, что ширина зоны субдукции за это время уменьшилась с 14 тысяч километров до 1400.

Чем дальше мы проникаем в глубь Земли, тем больше это напоминает нисхождение в ад. Здесь царят дьявольская жара и чудовищное давление. Уже в верхнем слое мантии температура повышается до 1000 °С, а давление возрастает с одного до 24 гигапаскалей – это примерно в 240 тысяч раз выше атмосферного давления.

В этих условиях не выдерживают даже минералы и горные породы. При таком давлении они не могут расплавиться, но зато меняется их структура. Она становится все более компактной. Это удалось выяснить, анализируя движение сейсмических волн.

Например, уже на глубине 410 километров оливин – минерал, из которого по большей части и состоит мантия, – превращается в свою модификацию, вадслеит, имеющий тот же

химический состав. Еще через 100 километров мы встречаем новую модификацию оливина – рингвудит.

На глубине свыше 1000 километров даже железо переходит в другое состояние. Теперь отдельные электроны его атомов образуют пары. В зависимости от того, обладают ли электроны, составившие эти пары, одинаковым спином (иными словами, вращаются ли они в одном и том же направлении), решительно меняются свойства минералов, содержащих железо, в частности их плотность, теплопроводность, а также скорость распространения в них сейсмических волн.

Железо находится в подобном состоянии, как выяснилось недавно, в обширной области, на глубине от 1000 до 2200 километров – а там уже начинается нижняя мантия. Давление постепенно возрастает с 24 до 120 гигапаскалей, а температура повышается с 1000 до 3500 °С.

На расстоянии примерно 2900 километров от поверхности Земли начинается земное ядро. Согласно расчетам, оно состоит из железа и никеля. Его внутренняя часть является твердой, а обволакивает эту сердцевину железоникелевый расплав. Он постоянно перемешивается, здесь и генерируется мощное магнитное поле – защитный экран нашей планеты. Характер течений в жидкой части ядра еще не до конца понятен ученым, а без этого невозможно исчерпывающе объяснить природу магнитного поля Земли.

Что уж там говорить! Мы только начинаем понимать, как ведут себя железо и никель в тех необычных условиях, которые царят в ядре Земли. Например, ученым давно было известно, что волны во внутренней части ядра движутся необычайно медленно – так, словно она является не твердой, как принято считать, а мягкой или, точнее, вязкой. Кроме того, скорость распространения волн выше, если они пересекают ядро с севера на юг, и ниже, если отклоняются от этой оси.

Судя по компьютерной модели, представленной в 2007 году российскими и шведскими исследователями, при тех чудовищных давлениях и температурах, что царят в глубине ядра, атомы железа принимают странную конфигурацию. Они образуют так называемую объемноцентрированную кубическую решетку. Чтобы представить, как это выглядит, надо вспомнить знаменитую скульптуру «Атомиум», установленную полвека назад в Брюсселе. Отдельные кубы этой кристаллической структуры довольно слабо связаны со своими соседями. Они могут смещаться в сторону, этим и объясняется пластичность внутренней части ядра. В то же время такая структура никак не сказывается на работе «магнитной динамо-машины».

В том же 2007 году в Science были опубликованы результаты лабораторного эксперимента другой международной группы исследователей. Ей удалось изучить поведение сплава никеля и железа в условиях, которые царят на расстоянии 4000 километров от поверхности Земли – при температуре свыше 3200 °С и давлении более 225 гигапаскалей. Рентгеновский анализ в самом деле показал изменение гексагональной структуры сплава на объемноцентрированную, благодаря чему его плотность уменьшилась на 2 %. Так было доказано, что земное ядро состоит из особой модификации железа.

Тем не менее ученые по-прежнему пока еще очень далеки от того, чтобы окончательно понять процессы, протекающие в ядре нашей планеты, а также в ее мантии. Наоборот, любое новое открытие порождает все новые вопросы. Путешествие к центру Земли продолжается, и конца ему пока не видно.

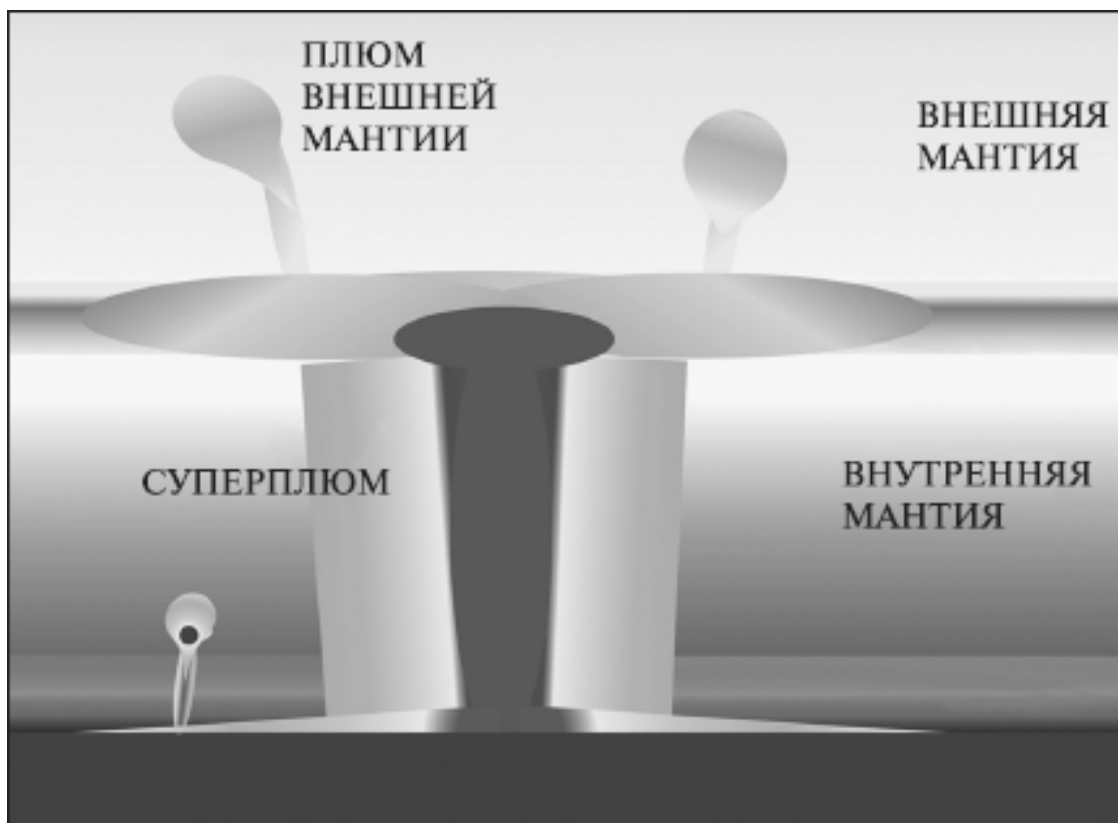
Где прячутся мантийные струи?

Никто не видел воочию, что происходит в недрах планеты. Даже удивительно, что в наши дни, когда роботы движутся по поверхности Марса, а межпланетные аппараты исследуют далекий Титан, человек не сумел углубиться в недра Земли хотя бы на полтора десятка километров. Лишь косвенные наблюдения позволяют судить о любопытнейших процессах, протекающих совсем неподалеку от нас.

Вот один из таких феноменов – мантийные струи (плюмы), потоки горячего вещества, притекающие из нижних слоев мантии. Все начинается с тонкой струйки шириной от 10 до 100 километров. Температура вещества, составляющего ее, на 100—300° выше, чем температура окружающих ее пород. Миновав вязкую мантию и достигнув твердой литосферы, она заметно расширяется, напоминая теперь шляпку гриба. Там, где подобные струи прорываются к поверхности Земли, они порождают особую форму вулканизма – так называемые «горячие точки» (*Hot Spots*). Такие вулканы располагаются не по краям литосферных плит, а посередине – там, где, как считалось в рамках теории глобальной тектоники, их не должно было быть.

Чаще всего эти вулканы встречаются на островах, затерянных где-нибудь в океане. Образуются целые цепочки подобных островов. Один из самых ярких примеров – Гавайские острова. Геологические исследования показывают, что в таких цепочках чем дальше острова оказываются от действующего вулкана, тем выше их возраст. Как правило, на самых древних островах находятся давно погасшие вулканы.

В 1963 году канадский геофизик Джон Тьюзо Уилсон связал это наблюдение с дрейфом литосферных плит. По его предположению, источник магмы, изливающейся при извержении подобного вулкана, скрывается в глубине мантии – гораздо глубже, чем при извержении обычных вулканов. В таком случае этот вулкан (назовем его сейчас «вулкан гавайского типа») движется вместе с литосферной плитой и извергается до тех пор, пока магма, притекающая из глубины мантии, не перестает его питать. Постепенно этот вулкан смещается в сторону от «горячей точки», и раскаленная магма, в конце концов, прожигает новый участок земной поверхности. Так образуется новый действующий вулкан, а прежний прекращает свою деятельность, гаснет. Через какое-то время все повторяется. Рождается очередной вулкан.



Нижняя мантия суперплюма

В 1971 году эту гипотезу дополнил американский геофизик Джейсон Морган. Он предположил, что восходящие потоки раскаленного вещества зарождаются в нижней части мантии. Эта догадка позволила объяснить, почему при извержении вулканов гавайского типа химический состав базальтовых лав, достигающих поверхности Земли, заметно отличается от состава базальтов, оказывающихся на поверхности при извержении обычных вулканов.

В последующие десятилетия, используя результаты сейсмических наблюдений и компьютерных моделей, ученые сумели во многом описать эти потоки вещества – мантийные струи. Обнаружено уже около полусотни подобных струй. Они располагаются под Гавайскими островами, Исландией, горами Эйфель на западе Германии и горой Этна на Сицилии.

Наблюдения показали, что есть два типа мантийных струй. Одни – в районе Азорских островов, Таити, Самоа – зарождаются на границе с ядром Земли, на глубине 2900 километров, и пересекают всю мантию. Другие – например, в Эйфеле – образуются в зоне, разделяющей верхнюю и нижнюю мантию, на глубине 410–660 километров от земной поверхности.

Возможно, помимо обычных мантийных струй земную мантию рассекают и громадные потоки раскаленного вещества – так называемые суперплюмы, суперпотоки. Только этим можно объяснить возникновение в далеком прошлом громадных базальтовых плато – таких, как плоскогорье Декан в Индии (его площадь достигает миллиона квадратных километров). Сегодня многие ученые связывают появление этого плато, образовавшегося около 66 миллионов лет назад, с «горячей точкой», которая находится теперь под островом Реюньон, хотя эта гипотеза и вызывает немало споров.

Другой пример. Около 250 миллионов лет назад свыше 2 миллионов квадратных километров территории Сибири было покрыто слоем лавы – результатом мощных вулканических извержений. Возможно, именно они стали причиной массового вымирания животных на исходе пермского периода (299–251 миллион лет назад), когда исчезли 95 % всех видов,

обитавших в тогдашних морях, и две трети видов, населявших сушу. Обширные базальтовые плато имеются также в Китае (район горы Эмэйшань) и Бразилии (район реки Парана).

На рубеже 1980-х и 1990-х годов была опубликована гипотеза Роберта Шеридана из Ратгерского университета и Роджера Ларсона из университета Род-Айленда. Согласно их предположению, особую активность суперплюмы проявляли в меловом периоде, около 120 миллионов лет назад. В пользу этого свидетельствуют резкие колебания тогдашнего уровня моря, усиленное образование океанической коры, стремительное раздвижение морского дна, прекращение смены магнитных полюсов, повышение средней температуры на планете. Главный очаг активности находился в западной части Тихого океана. По оценке исследователей, эта область достигала в поперечнике нескольких тысяч километров – в десятки раз больше территории, затрагиваемой деятельностью обычных мантийных струй.

Ученые продолжают спорить о том, существуют ли на самом деле суперплюмы. В новейшей научной литературе это понятие применяется лишь к двум регионам планеты. Предполагается, что одна из этих гигантских струй находится в западной части Тихого океана – там, где выявлен аномально большой приток тепла из глубин планеты к ее поверхности и располагаются четыре «горячие точки», – а другая скрывается под Восточной Африкой.

По одной гипотезе, такие струи, словно громадный поток Амазонки, образуются за счет слияния нескольких мелких струек-«речушек», которые, устремляясь вверх, к «воздушному океану», соединяются друг с другом. Однако сейсмические наблюдения не подтвердили этой догадки.

Другую гипотезу предложили Венди Панеро и ее коллеги из университета штата Огайо. По их мнению, важную роль в зарождении гигантских восходящих потоков вещества играют многочисленные обломки древних континентальных плит, скапливающиеся в нижней части мантии, что нарушает привычный ход протекающих здесь процессов. Участки мантии, где образовались подобные потоки вещества, с самого начала незначительно отличались по своему химическому составу от соседних областей. Они содержали предположительно от 10 до 13 % железа вместо 10—12 %, как остальная часть мантии. Громадные мантийные потоки – это, вероятно, потоки вещества более плотного, нежели в остальной мантии. Обычно такое вещество погружается в глубь менее плотного – в глубь мантии – и расширяется. Но здесь они зародились там, куда в результате процесса субдукции опускаются куски литосферных плит. По этой причине суперплюмы, полагает Панеро, не могут стронуться с места на протяжении последних 200 миллионов лет – со времен распада Пангеи, хотя окружающее их вещество мантии непрестанно движется вокруг них.

Исследование мантийных струй только начинается. Пока разрешающая способность современных приборов слишком мала, чтобы увидеть во всех подробностях то, что происходит не на Марсе или Титане, а всего в сотне километров от нас. Но это лишний раз убеждает нас в том, что география – физическая география Земли – и в XXI веке останется одной из важнейших наук. Нас могут ждать новые крупные открытия!

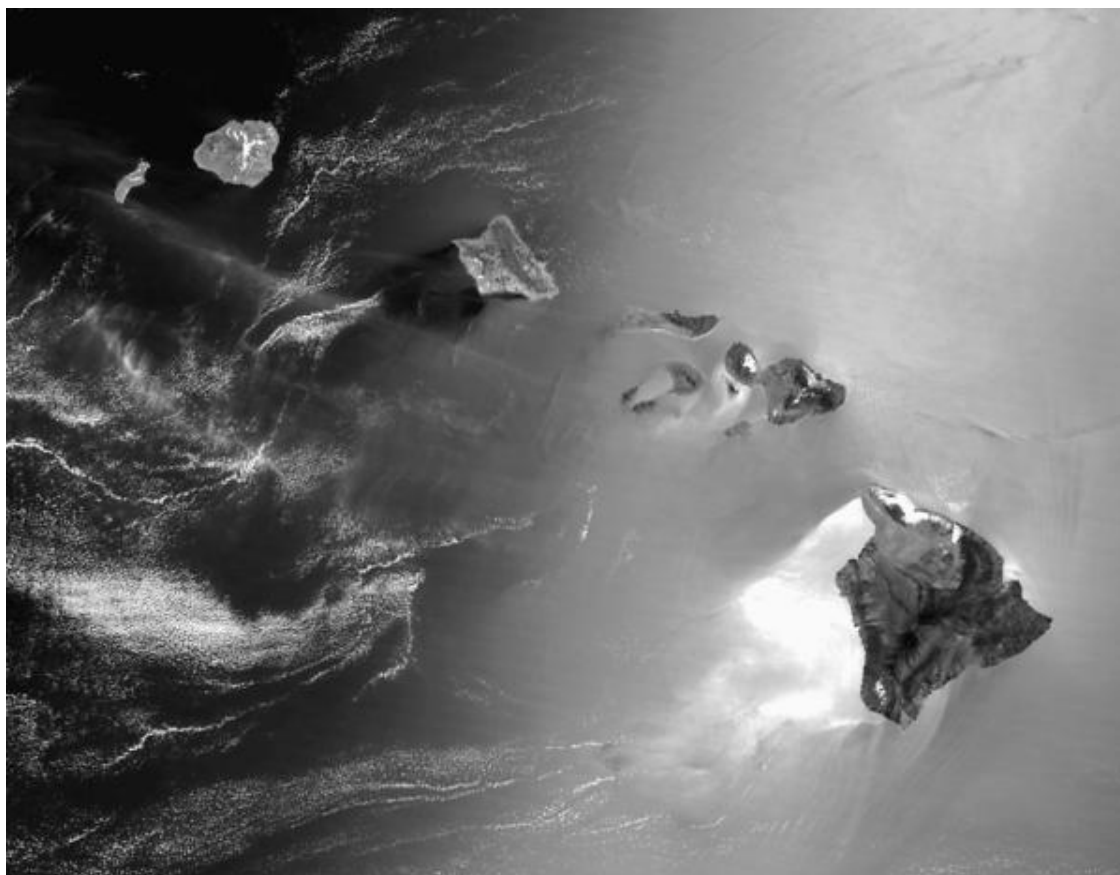
Сдвигаются ли «горячие точки»?

Вся планета неизменно пребывает в движении. Все литосферные плиты, составляющие зримую поверхность Земли, перемещаются в разные стороны. «Горячие точки» считались единственными «твердыми опорами» в этом неустойчивом мире. Однако новые открытия заставляют усомниться в этой догме. Может быть, всю теорию глобальной тектоники плит придется переписывать заново?

«Горячими точками» называют центры вулканической активности, расположенные вдали от краев литосферных плит. Впервые об их существовании заговорил полвека назад Джон Тьюзо Уилсон. Температура участка мантии, расположенного непосредственно под «горячей точкой», заметно выше, чем соседних участков. Раскаленная струя вещества постепенно прорезает литосферную плиту и изливается на поверхность Земли. Образуется вулкан. Ну а поскольку плиты постоянно движутся, эта струя, в конце концов, оказывается в стороне от него. Плита ведь переместилась вперед. Тогда струя прорезает надвинувшуюся на нее часть плиты и снова пробивается наверх. Так появляется новый вулкан, в стороне от первого. Чаще всего подобный вулкан возникает на дне океана, поскольку здесь земная кора заметно тоньше, чем на суше. Однако он выбрасывает такое количество лавы, что вокруг него образуется целый остров. Со временем процессы эрозии разрушают и сам вулкан, и остров из отвердевшей лавы, что возник возле него. Через миллионы лет морская гладь поглощает весь этот истертый ветром и водой клочок суши. Такова, например, и судьба Гавайских островов.

Уже к концу 1970-х годов большинство геологов приняли эту гипотезу. Ведь она могла объяснить многие детали глобальной тектоники плит, остававшиеся еще непонятными. Почему, например, вулканы образуются не только по краям литосферных плит, но и посреди них?

Точное количество «горячих точек» неизвестно, поскольку геофизики пока не научились выявлять небольшие мантийные струи. Поэтому в научной литературе бытуют разные цифры. Однозначно – путем сейсмологических наблюдений – обнаружено примерно полсотни мантийных струй и соответственно «горячих точек». Они располагаются по всему земному шару – от Канарских островов до Йеллоустона, от Азорских островов до островов Галапагос.



Одна из «горячих» точек Земли – Гавайские острова. Вид из космоса

«Горячие точки» очень заинтересовали ученых, занимающихся палеогеографией. По тому, как на протяжении миллионов лет менялось расположение вулканов, вытянувшихся теперь в виде цепочки островов, можно реконструировать скорость движения литосферных плит. Так, в случае с Гавайскими островами она равняется сейчас 8,5 сантиметра в год. Около 400 тысяч лет назад прямо над «горячей точкой» находился остров Гавайи, крупнейший остров архипелага, а 3 миллиона 700 тысяч лет назад над ней располагался остров Оаху.

Сейчас «горячая точка» находится примерно в 35 километрах от острова Гавайи, в районе подводного вулкана Лоихи. Здесь еще нет острова, он только растет, его контуры лишь угадываются под водой. Пока от поверхности моря его отделяет 900 метров. Но, по расчетам геологов, уже через несколько миллионов лет вершина вулканического конуса, образовавшегося здесь, будет возвышаться над океаном на 4000 метров. В общей сложности его высота, если учесть подводную часть, достигнет 10 тысяч метров. Это больше, чем высота Джомолунгмы, величайшей горы нашей планеты, но зато примерно соответствует высоте вулкана Мауна-Кеа, лежащего на острове Гавайи (опять же отсчет надо вести от морского дна). Это полное подобие двух вулканов – реального и пока еще смоделированного, – возможно, когда-нибудь подтвердит гипотезу Уилсона, который предположил, что формирование и рост всех островов, образовавшихся возле одной и той же «горячей точки», протекает всегда по одной и той же схеме, всегда одинаково.

Различный возраст отдельных Гавайских островов проявляется еще и в том, что они пребывают на разных стадиях эрозионного разрушения. Если самый молодой из них – остров Гавайи – в результате регулярных вулканических извержений все еще продолжает расти, то острова, лежащие к северо-западу от него, уже заметно тронуты эрозией и разрушены.

Интерес вызывает и форма вулканической цепочки. По ней можно судить о том, как менялось направление движения литосферной плиты. Например, Гавайские острова изо-

гнуты таким образом, что это позволило некоторым ученым предположить: около 43 миллионов лет назад Тихоокеанская плита столкнулась с другой плитой. Однако никаких иных видимых признаков коллизии не удалось выявить. Но, может быть, не стоит «громоздить Пелион на Оссу»? И это не плиту шатало из стороны в сторону, а перемещалась «горячая точка»?

Всякий раз, выполняя подобные расчеты, ученые делают одно принципиально важное допущение: они полагают, что передвигаются только литосферные плиты, в то время как сама мантийная струя остается на одном и том же месте. Но так ли это?

В последние годы поставлена под сомнение даже история возникновения Гавайских островов – парадный пример теории «горячих точек». Американские геофизики Джон Тардуно и Рори Коттрелл предположили, что на самом деле эта «горячая точка» перемещается с весьма внушительной скоростью 3—4 сантиметра в год. Примерно так же быстро движутся и литосферные плиты.

Прежде чем прийти к такому выводу, Тардуно и Коттрелл исследовали магнитные характеристики вулканических пород, выброшенных гавайскими вулканами. Ведь, как мы уже отмечали, некоторые минералы могут указывать, каким было направление магнитного поля Земли в момент их застывания. На экваторе силовые линии магнитного поля располагаются горизонтально, а чем дальше, к северу или югу, – тем заметнее они отклоняются от горизонтали. Это и позволило установить, что 75 миллионов лет назад «горячая точка» Гавайских островов находилась на 35° северной широты (сегодня – на 19°).

Такие же геомагнитные исследования позволили установить, что большая часть «горячих точек» когда-то находилась вовсе не на той широте, что теперь. Вполне может быть, что все эти точки перемещаются по поверхности Земли. Очевидно, мантийные потоки не устремляются ввысь, как стрела, а отклоняются в стороны, покачиваются, как языки пламени на ветру.

Но эта догадка грозит пошатнуть многие устоявшиеся теории. Ведь ученые реконструируют положение континентов в далеком прошлом, исходя из того, что «горячие точки» неизменно находятся на одном и том же месте. Они – точки отсчета, позволяющие восстановить, когда и куда переместилась та или иная плита. Однако если сами эти точки оказываются то здесь, то там, то и все расчеты летят в тартарары. В таком случае ошибочны все наши представления о далеком прошлом Земли. Это касается и истории климата, и перемещений магнитных полюсов, и много другого. Пошатнулось здание геологии, словно и под ним разверзлась твердь земная, прожженная насквозь «горячей точкой» науки...

Стоит добавить, что в общей сложности как минимум 10 % всей поверхности нашей планеты, а по некоторым предположениям, даже 40 % так или иначе подверглись воздействию излившихся на нее мантийных потоков вещества. Геологическая роль их так велика, а их проявления так разнообразны, что некоторые ученые полагают, будто сама гипотеза мантийных струй и «горячих точек» ошибочна, а значит, многие феномены, обязанные им своим происхождением, имеют совсем другую природу. Но справедливы ли сомнения этих скептиков?

Почему Америка до сих пор не утонула?

Итак, мы изучили недра Земли хуже, чем поверхность Марса или Луны. Под нашими ногами простираются сплошные белые пятна. Конечно, основной закон геофизики нам давно известен: более плотные участки земной коры, плавающая в слое верхней мантии – астеносфере, глубже погружаются в нее, чем менее плотные, подобно тому как громадные военные корабли глубже оседают в волнах, чем рыбацьи фелюги. Это не что иное, как закон Архимеда, примененный к земной коре. Определенную роль в этом гидростатически равновесном состоянии играет и температура ее нижних слоев. Чем сильнее они разогреты, тем выше континент вздымается над уровнем моря. Однако до сих пор этот показатель почти не использовался для описания рельефа различных районов планеты.

Обычно специалисты, объясняя топографию континентов, учитывают лишь, как движутся литосферные плиты и из каких пород они сложены. Соответственно, чем массивнее «подземная часть» континента, тем выше на его поверхности вздымаются горы. Измерения, проводившиеся в Альпах, подтвердили это. «Корни» альпийских гор уходят в глубь Земли в два раза дальше, чем остов других частей Европы.

Но есть немало примеров, которые не укладываются в эту схему. Скажем, плато Колорадо в США (его преобладающие высоты – от 1800 до 2500 метров) и Великие равнины, простирающиеся к востоку от Скалистых гор, сложены из одних и тех же пород, но перепад высот между ними составляет около полутора тысяч метров.

Тем любопытнее работа, которую опубликовали недавно Деррик Хэстерок и Дэвид Чепмен из университета штата Юта на страницах *Journal of Geophysical Research*. Ее название – «Континентальная термальная изостазия. – Часть первая: методы и чувствительность». Как правило, научная статья под таким заголовком не избалована вниманием широкой публики. И даже среди геологов немногие зачитываются такого рода теоретическими рассуждениями. Поэтому, чтобы пробудить интерес к своей работе Чепмен и Хэстерок нашли любопытный ход. Они сопроводили сугубо научный материал увлекательным приложением под заголовком «Часть вторая: применительно к Северной Америке», где живописали картину далекого будущего.



Под Колорадо температура недр на глубине 30 км составляет около 650 °С, в то время как под Великими равнинами – 500 °С

Как оказалось, земная кора под Северной Америкой разогрета сильнее, чем ожидали. В принципе, недра Земли напоминают... очень вязкую кашу, которая варится на костре. Тепло, притекающее из глубины планеты, а также выделяющееся при распаде радиоактивных элементов, не дает этому «костру» погаснуть. Благодаря конвективным потокам «варево» постоянно, хоть и очень медленно перемешивается. Этот перенос тепла из недр Земли к поверхности – основной мотор тектоники плит; кроме того, данный процесс еще и определяет облик континентов.

Ученых особенно поразило то, что картина температурных перепадов в недрах Северной Америки точно соответствует рельефу материка. Чем сильнее разогреты породы (прежде всего, за счет распада радиоактивных элементов), тем выше рельеф в этой части Америки. Так, под Колорадо температура недр на глубине 30 километров составляет около 650 °С, в то время как под Великими равнинами – 500 °С. Поэтому плотность пород, составляющих земную кору под Колорадским плато, заметно ниже, «и она, подобно пробке, всплывает», – образно поясняет Хэстерок. Слои земной коры вспучились, образовав на поверхности плоскогорье. «А вот на севере Канады ничего похожего не наблюдается. Возраст земной коры там составляет 3 миллиарда лет, и потому она давно остыла».

В принципе, геологи еще несколько десятилетий назад, изучая процессы, протекающие на дне океанов, осознали, что температура верхних слоев мантии и нижней части земной коры играет важную роль в тектонике. Для литосферных плит, составляющих дно океанов, этот эффект хорошо известен. Ведь по дну тянутся срединно-океанические хребты высотой в несколько тысяч метров. Однако, если обратиться к традиционной схеме тектонических процессов, подобный рельеф никак не мог возникнуть, поскольку при движении плит земная кора растягивается и горы могут образоваться лишь там, где две плиты сталкиваются друг

с другом. Так что ученым пришлось искать другое объяснение. И они нашли его, обратив внимание на то, что в районе подводных хребтов к поверхности земли поднимаются потоки раскаленной магмы, создавая новые участки земной коры. Их плотность мала; они вспучиваются, образуя подводные горы.

Однако геология континентов гораздо сложнее, и до сих пор ученые почти не принимали во внимание температурные эффекты, анализируя особенности рельефа. Между тем, как явствует из расчетов Чепмена и Хэстерока, если бы не влияние температуры, то большая часть Северной Америки скрылась бы под водой. Например, Атланта находилась бы на глубине 430 метров, Чикаго – почти в 700 метрах ниже уровня моря, а Лас-Вегас опустился бы даже на глубину 1300 метров. Лишь Скалистые горы, Сьерра-Невада и Каскадные горы на северо-западном побережье США островками выглядывали бы над поверхностью океана.

В своей работе Чепмен и Хэстерок поделили США на «тектонические провинции», то есть районы, лежащие на слоях породы одинаковой толщины и одного и того же состава. «Такой подход позволил исключить влияние этих характеристик земной коры из наших расчетов и оценить, как влияет температура нижележащих слоев породы на высоту той или иной местности», – подчеркивает Чепмен. Очевидно, плавучая сила, удерживающая континенты, лишь на 50 % обусловлена составом пород, слагающих земную кору, и на 50 % – температурой, к такому выводу пришли ученые.

Дело осталось за малым – за научным прогнозом. Чепмен и Хэстерок обратились к справочным данным – положению крупнейших городов Америки над уровнем моря – и вычли из этих цифр влияние температуры, предположив, что всюду под Северной Америкой земная кора остыла точно так же, как и на севере Канады. Сразу же географическая карта этой части мира стала выглядеть совершенно иначе. На месте третьего по величине континента Земли отныне пролегала лишь узкая полоска суши, покрытая горами, и несколько небольших островов, омываемых водами Тихого и Атлантического океанов. Где-то на дне – тайной двух океанов – упокоились Нью-Йорк (434 метра ниже уровня моря) и Новый Орлеан (– 730 метров), Бостон (– 555 метров) и Лос-Анджелес (– 1145 метров), или что там от них осталось.

Особый случай представляет северо-западное побережье США. Здесь под континентальную Северо-Американскую плиту «подныривает» плита Хуан-де-Фука. Последняя давно мешает притоку тепла из недр к поверхности Земли, а потому земная кора здесь очень охлаждена. Так что эта часть США непременно поднимется над уровнем моря, когда температура недр на всей территории страны выравняется. Если сейчас Сиэтл лежит на уровне моря, то после мысленного эксперимента, который проделали над ним ученые, он оказался в горах – на высоте 1800 метров.

Подводим итоги: Америка до сих пор не утонула! Обетованная земля, воспарившая на гребне незримого огня...

Если же без шуток, то геологи из Юты сделали важный шаг на пути к созданию целостной картины динамических процессов, протекающих в недрах нашей планеты. Можно лишь сожалеть, что результаты, полученные ими для Северной Америки, невозможно применить к другим континентам, ведь геология каждого из них уникальна, и всякий раз ученым придется заново описывать процессы, происходящие в недрах Земли, и измерять температуру слоев, лежащих на границе мантии и земной коры.

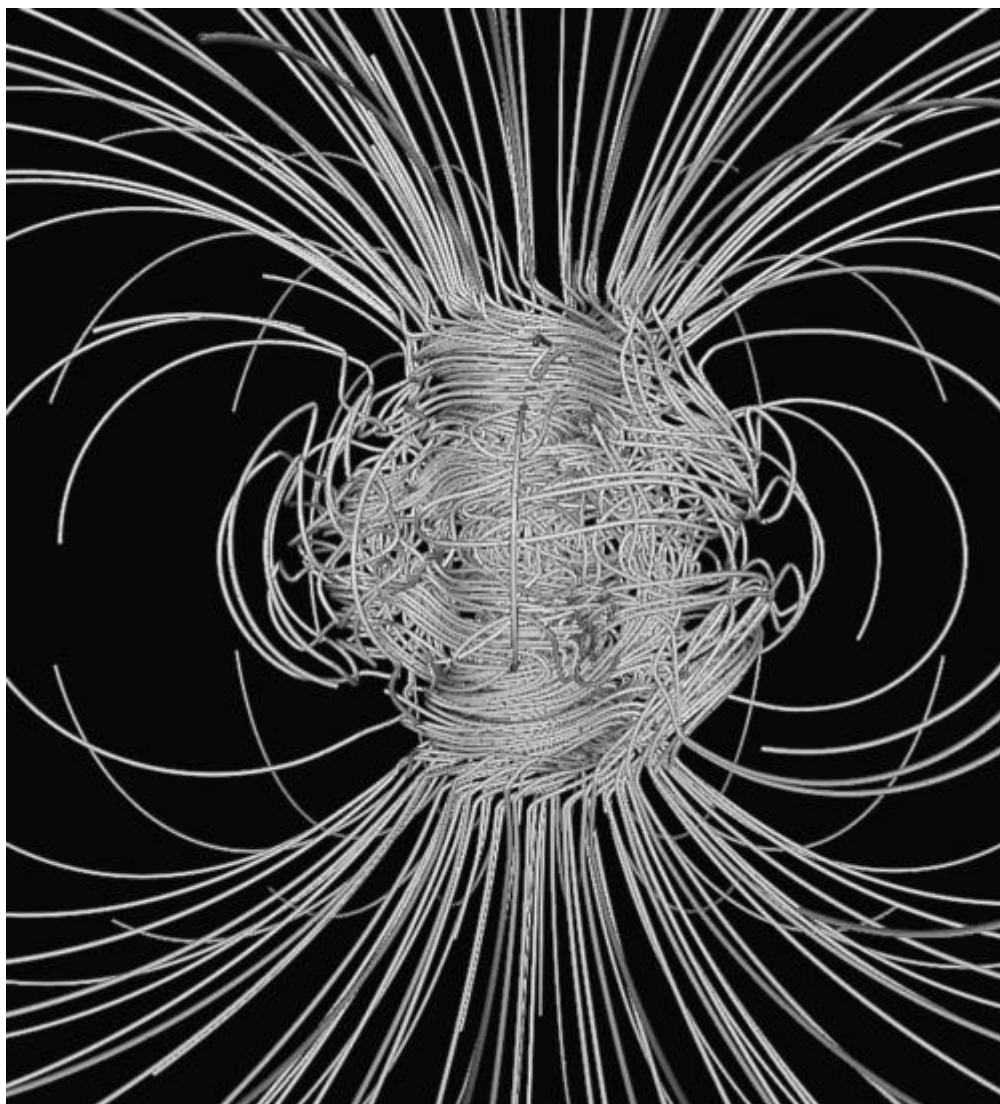
Как возникает магнитное поле Земли?

Если бы у Земли не было магнитного поля, то и сама она, и мир живых организмов, населяющих ее, выглядели бы совсем иначе. Магнитосфера, словно громадный защитный экран, оберегает планету от космического излучения, которое непрерывно обрушивается на нее. О мощности потока заряженных частиц, исходящего не только от Солнца, но и от других небесных тел, можно судить по тому, как деформировано магнитное поле Земли. Например, под напором солнечного ветра силовые линии поля с той его стороны, что обращена к Солнцу, прижаты к Земле, а с противоположной стороны развеваются, словно кометный хвост. Как показывают наблюдения, магнитосфера простирается на 70—80 тысяч километров в сторону Солнца и на многие миллионы километров в противоположном от него направлении.

Надежнее всего этот экран выполняет свои функции там, где он менее всего деформирован, где он располагается параллельно поверхности Земли или слегка наклонен к ней: в районе экватора или в умеренных широтах. А вот ближе к полюсам в нем обнаруживаются изъяны. Космическое излучение проникает к поверхности Земли и, сталкиваясь в ионосфере с заряженными частицами (ионами) воздушной оболочки, порождает красочный эффект — сполохи полярного сияния. Если бы этого экрана не было, космическая радиация непрерывно бы проникала к поверхности планеты и вызывала мутации генетического наследия живых организмов. Лабораторные эксперименты показывают также, что отсутствие земного магнетизма отрицательно сказывается на формировании и росте живых тканей.

Загадки магнитного поля Земли тесно связаны с его происхождением. Наша планета вовсе не напоминает собой стержневой магнит. Ее магнитное поле устроено гораздо сложнее. Есть разные теории, объясняющие, почему Земля обладает этим полем. Ведь для того, чтобы оно существовало, необходимо, чтобы было выполнено одно из двух условий: либо внутри планеты располагается громадный «магнит» — некое намагниченное тело (долгое время ученые так и считали), либо там протекает электрический ток.

В последнее время наиболее популярна теория земной «динамо-машины». Еще в середине 1940-х годов ее предложил советский физик Я.И. Френкель. На 90 с лишним процентов магнитное поле Земли генерируется за счет работы этой «динамо-машины». Оставшуюся его часть создают намагниченные минералы, содержащиеся в земной коре.



Компьютерная модель магнитного поля Земли

Как же возникает магнитное поле Земли? На расстоянии примерно 2900 километров от ее поверхности начинается земное ядро – та область планеты, до которой никогда не удастся добраться исследователям. Ядро состоит из двух частей: твердого внутреннего ядра, спрессованного под давлением 2 миллиона атмосфер и содержащего в основном железо, а также расплавленной внешней части, которая ведет себя очень хаотично. Этот расплав железа и никеля постоянно пребывает в движении. Магнитное поле и создается за счет конвективных потоков во внешнем ядре. Эти потоки поддерживаются благодаря заметному перепаду температур между твердым внутренним ядром и мантией Земли.

Внутренняя часть ядра вращается быстрее внешней и играет роль ротора – вращающейся части электрогенератора, в то время как внешняя – роль статора (его неподвижной части). В расплавленном веществе внешнего ядра возбуждается электрический ток, который, в свою очередь, порождает мощное магнитное поле. Это и есть принцип динамо-машины. Иными словами, земное ядро представляет собой громадный электромагнит. Силовые линии созданного им магнитного поля начинаются в районе одного полюса Земли и заканчиваются в районе другого полюса. Форма и интенсивность этих линий варьируются.

Зародилось же магнитное поле Земли, как полагают ученые, еще в ту пору, когда только шло формирование планеты. Возможно, решающую роль сыграло Солнце. Оно запустило эту природную «динамо-машину», которая продолжает свою работу и теперь.

Ядро окружено мантией. Ее нижние слои находятся под большим давлением и разогреты до очень высоких температур. На границе, разделяющей мантию и ядро, протекают интенсивные процессы теплообмена. Перенос тепла играет ключевую роль. К более холодной мантии притекает тепло из раскаленного ядра Земли, и это сказывается на конвективных потоках в самом ядре, меняет их.

В зонах субдукции, например, участки морского дна опускаются в глубь Земли, почти достигая границы, разделяющей мантию и ядро. Эти куски литосферных плит, «отправленные» на переплавку в недра планеты, заметно холоднее той части мантии, где оказались. Они охлаждают окружающие их области мантии, и сюда начинает перетекать тепло со стороны ядра Земли. Процесс этот очень длительный. Расчеты показывают, что порой лишь по прошествии сотен миллионов лет температура охлажденных областей мантии выравнивается.

В свою очередь, раскаленное вещество, поднимаясь в виде громадных струй от границы, разделяющей мантию и ядро, достигает поверхности планеты. Этот круговорот вещества, эти сложные процессы перетекания вверх-вниз, на «лифте Земли» то раскаленного, то очень холодного вещества, несомненно, влияют на работу природной «динамо-машины». Рано или поздно она сбивается с привычного ритма, и тогда создаваемое ею магнитное поле начинает меняться. Компьютерные модели показывают, что время от времени все может кончиться сменой магнитных полюсов.

В этой смене полюсов нет ничего необычного. В истории нашей планеты такое происходило часто. Однако были эпохи, когда смена полюсов прекращалась. Например, в меловом периоде они не менялись местами на протяжении почти 40 миллионов лет.

Пытаясь объяснить этот феномен, французские исследователи во главе с Франсуа Петрели обратили внимание на положение континентов относительно экватора. Оказалось, чем больше континентов лежит в одном из полушарий Земли, тем чаще ее магнитное поле меняет свое направление. Если же, наоборот, континенты располагаются симметрично относительно экватора, то на протяжении многих миллионов лет магнитное поле остается стабильным.

Так, может быть, положение континентов влияет на конвективные потоки во внешней части ядра? В таком случае это влияние осуществляется через зоны субдукции. Когда почти все континенты находятся в одном из полушарий, там будет и больше зон субдукции. Массивная, холодная кора будет всё опускаться к границе, разделяющей мантию и ядро, и скапливаться там. Образовавшиеся заторы, несомненно, нарушат тепловой обмен между мантией и ядром. Компьютерная модель показывает, что конвективные потоки во внешнем ядре из-за этого тоже смещаются. Теперь уже и они асимметричны относительно экватора. Очевидно, при таком их расположении земную «динамо-машину» легче вывести из равновесия. Она, словно человек, вставший на одну ногу и готовый потерять равновесие от легкого толчка. Вот и магнитное поле внезапно «переворачивается».

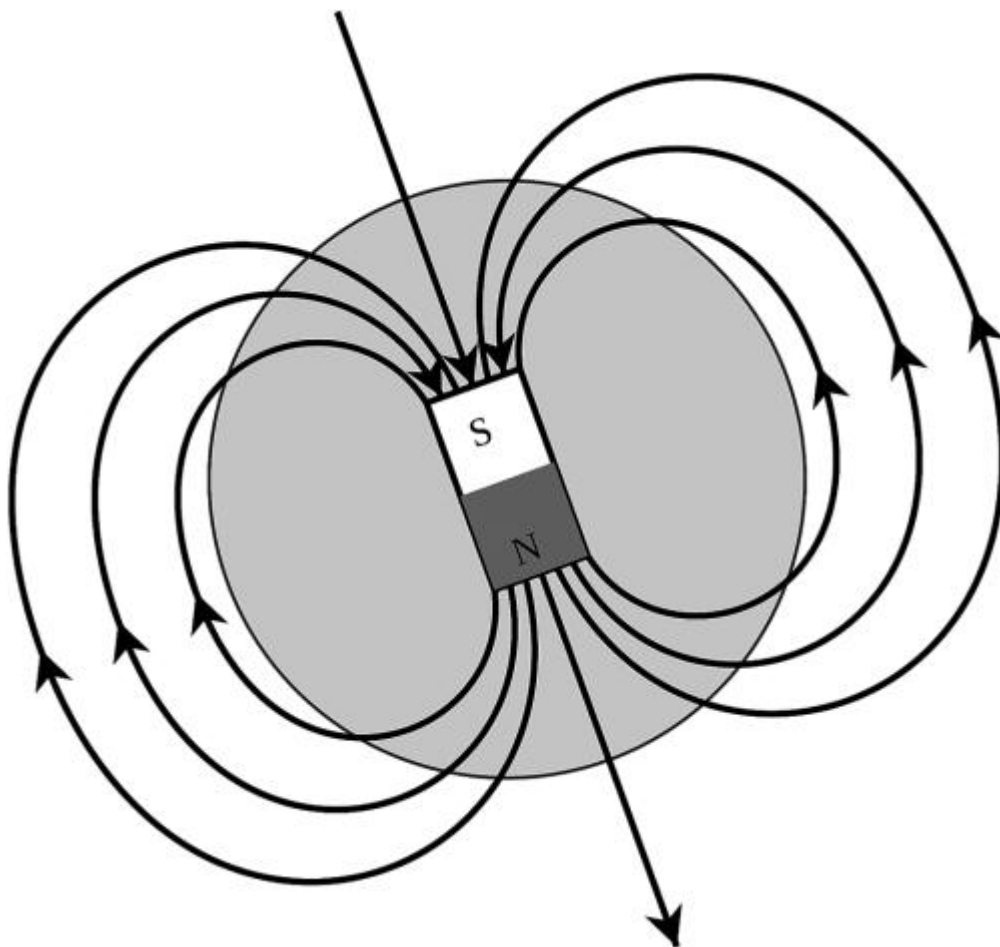
Итак, весьма вероятно, что на смену магнитных полюсов влияют тектонические процессы, протекающие на нашей планете, и, прежде всего, движение континентов. Прояснить это могут дальнейшие палеомагнитные исследования. В любом случае ученые обнаруживают все больше фактов, которые свидетельствуют о том, что между движением литосферных плит на поверхности Земли и «динамо-машиной», создающей магнитное поле Земли и расположенной в самом центре планеты, есть определенная связь.

К чему приведет смена магнитных полюсов?

Мощное магнитное поле – отличительная особенность нашей планеты. Земля представляет собой один громадный магнит. Это кажется чем-то незыблемым, неизменным. Но впечатление обманчиво. Не раз в истории Земли магнитное поле необъяснимым образом ослабевало, а затем его полюса менялись местами. Лишь после этого незримый экран, защищающий планету от космического излучения, вновь восстанавливался.

Чем объяснить подобные метаморфозы? Как они сказывались на судьбах всего живого? Эти вопросы имеют не только теоретическое значение. Магнитное поле Земли постепенно становится слабее и сейчас. За последние полтора века его полюса заметно сместились. Неужели нас ждет катастрофа?

Долгое время магнитное поле Земли и впрямь считалось символом стабильности. Однако с начала 1960-х годов геологи стали обнаруживать «неправильно намагниченные минералы». Как известно, многие минералы сохраняют магнитные характеристики, приобретенные в момент своего формирования. И вот, судя по ним, в далеком прошлом магнитные полюса Земли располагались иначе. «Доисторический компас» указывал не на север, а на юг. На протяжении всей земной истории полюса менялись местами. Два с небольшим миллиарда лет Северный магнитный полюс оставался «северным» и примерно столько же времени был «южным».



Земля как магнитный диполь

То же подтверждали и исследования, проводившиеся в окрестности вулканов. Лава, застывавшая в разные эпохи, надежно передавала особенности магнитного поля Земли –

служила «магнитным календарем». Чтение его страниц помогло ученым детально воссоздать картину геомагнитных инверсий.

Как же происходит смена магнитных полюсов? Чем это грозит нашей планете? И такой ли беззащитной окажется на какое-то время Земля? Или космическая радиация все же не будет проникать к ее поверхности?

Модель, которую разработали американские геофизики Гэри Глацмайер и Пол Робертс, показывает, что все начинается с того, что магнитное поле Земли понемногу ослабевает. Проходит 500—1000 лет, и его привычная двухполюсная структура внезапно меняется. Поле становится хаотичным. Если сейчас его силовые линии начинаются в районе одного полюса и заканчиваются в окрестности другого, то во время инверсии они расположатся в полном беспорядке. На какое-то время возникнет три, четыре, а то и больше магнитных полюсов. Наконец, после этой стадии «всеобщей сумятицы» поле снова стабилизируется. Восстановится его прежняя структура с двумя магнитными полюсами, но теперь Северный полюс расположится там, где был Южный, и наоборот. Геологические исследования свидетельствуют, что смена полюсов продолжается в среднем около 7000 лет, причем в районе экватора магнитное поле стабилизируется уже через 2000 лет, а в окрестности полюсов – через 11 тысяч лет.

Следует отметить, что в минувшем десятилетии появились компьютерные модели, показывающие, что при отсутствии магнитного поля, создаваемого земным ядром, в верхних слоях атмосферы нашей планеты, на расстоянии 350 километров от ее поверхности, генерируется «запасное» магнитное поле. Оно защитит жизнь на Земле так же надежно, как и обычное магнитное поле. Поэтому космическая радиация по-прежнему не будет проникать к поверхности планеты. Причиной появления этого «запасного» поля становятся сами космические лучи. Они электризуют воздушную оболочку планеты, и это приводит к возбуждению магнитного поля. Такую модель разработал, например, немецкий астрофизик Харальд Леш.

Наблюдения палеонтологов и геологов косвенно подтверждают эту гипотезу. В слоях отложений на дне Атлантического океана, соответствующих периодам смены магнитных полюсов, не замечено следов повышенной радиоактивности. У животных, населявших нашу планету в эти эпохи, не обнаружено возросшей частоты мутаций.

Теперь, когда сценарий грядущей геомагнитной инверсии хотя бы отчасти понятен, напрашивается вопрос: когда ее ждать? Что могут сказать об этом ученые?

Для начала отметим, что в последний раз смена полюсов происходила очень давно – около 750—780 тысяч лет назад. Даже по геофизическим меркам это целая вечность. Ведь за последние 100 миллионов лет магнитные полюса менялись в среднем через каждые 200—500 тысяч лет. Новая смена полюсов запаздывает. Так скоро ли она наступит?

Систематические наблюдения за магнитным полем Земли ведутся с середины XIX века. За это время положение его полюсов заметно изменилось. Так, начиная с 1841 года Северный магнитный полюс (следует отметить, что с физической точки зрения этот полюс является «южным», поскольку притягивает северный полюс стрелки компаса. – А. В.) преодолел 1100 километров, а Южный – 1300 километров. Сейчас Северный магнитный полюс все быстрее перемещается по Арктике. Большую часть XX века скорость его дрейфа составляла около 10 километров в год, но начиная с 1983 года он стал передвигаться быстрее. В 1983—1994 годах скорость его движения составляла 15 километров в год, а теперь достигла 50 километров в год. Сейчас он располагается менее чем в 500 километрах от географического Северного полюса, к северу от побережья Канады. Если он продолжит двигаться с той же скоростью и в том же направлении, то примерно к 2020 году достигнет географического Северного полюса, а уже к 2050 году – берегов Сибири.

Ученые пока не знают, почему полюс так стремительно перемещается из Канады в Россию. Возможно, причина кроется в изменении конвективных потоков во внешней части

земного ядра. В истории планеты подобное происходило обычно перед сменой полюсов, когда магнитное поле Земли заметно ослабевало. Вот и сегодня множатся признаки близящейся инверсии, отмечалось в 2012 году на страницах журнала Nature Geoscience.

Чем беспокойнее ведут себя магнитные полюса, тем слабее становится поле. Сейчас его напряженность уменьшается примерно на 5 % за столетие. Простой расчет показывает, что через 2000 лет она станет равна нулю. Иными словами, магнитное поле исчезнет? Но эта гипотеза с научной точки зрения никак не обоснована. Мы не можем точно сказать, будет ли магнитное поле Земли в ближайшие века меняться так же стремительно, как и в последние 100 лет. В истории нашей планеты напряженность магнитного поля не раз заметно колебалась, но смены полюсов при этом не происходило.

Отнюдь не новы и странные блуждания Северного магнитного полюса. Возможно, в конце концов он вернется из Сибири в Канаду. Подобные события уже не раз повторялись за последние 2000 лет, отмечает Джозеф Стонер из Орегонского университета. Стонер и его коллеги исследовали отложения в некоторых арктических озерах. Эти отложения интересны тем, что содержат минералы, в которых имеется железо, а потому они могут пове­дать о том, каким было магнитное поле много веков назад. Как выяснилось, каждые 500 лет всего лишь за одно-единственное столетие Северный магнитный полюс перемещается на несколько тысяч километров. Всего с начала нашей эры он трижды предпринимал подобные спурты.

Так что причин для паники нет. Смена магнитных полюсов не станет катастрофой для нашей планеты. Только за последние 400 миллионов лет Земля уже несколько сотен раз переживала смену полюсов, но это не привело к гибели всего живого. Наоборот, жизнь на Земле становилась все сложнее и разнообразнее. Палеонтологи не нашли свидетельств массового вымирания животных в те эпохи, когда магнитные полюса менялись местами.

Суша

Тайга: исчезновение естественного рая?

Бесконечное море деревьев... Трескучий мороз... Безлюдная лесная даль... Такой воображается тайга тому, кто ни разу там не бывал. Однако она гораздо интереснее наших представлений о ней.

Сами размеры тайги вводят нас в заблуждение. Бореальные (*boreal* переводится с латыни как «северный») хвойные леса охватывают территорию от горных районов Аляски до атлантического побережья Северной Америки, от Скандинавии до Тихого океана. Общая площадь, занимаемая тайгой, составляет 14 миллионов квадратных километров. Она кажется неприступной крепостью, на тверди которой человек как будто способен оставить только щербин. Громадная полоса хвойных лесов простирается от 50 до 70° северной широты. Около 13 % всей суши покрыто тайгой. Но нам, когда мы слышим это слово, непременно припоминается Сибирь. Площадь, занимаемая здесь тайгой, составляет около 5,5 миллиона квадратных километров.

В Южном полушарии нет ничего похожего на тайгу. Ведь там, в высоких широтах, нет громадных материков, где мог бы установиться континентальный климат, который необходим для нее.

Часто тайгу называют «зеленым морем», но тот, кто ожидал увидеть нечто подобное, при первой встрече с ней будет обманут в ожиданиях. Тайга многолика. Непрестанную круговерть деревьев нередко пересекают просторные поляны, заросшие травой, или болота (ими покрыта пятая часть территории, занятой тайгой). По весне, когда тают снега, она и впрямь превращается в море. Здесьняя почва скована мерзлотой, а потому талая вода не может просочиться вглубь и растекается по лесу. В летние месяцы зеленое море иногда вспыхивает огнем – начинаются лесные пожары. Когда же приходит зима, то на 6—7 месяцев тайга, занесенная без конца и без края снегами, словно погружается в сон.



Общая площадь, занимаемая тайгой на планете, составляет 14млн квадратных км

Это лишь на первый взгляд тайга кажется единой экосистемой. На самом деле она, словно огромная мозаика, сложена из многочисленных элементов, которые заметно разнятся по своему климату, по своей экологии.

Так, в евразийской тайге, если перемещаться с запада на восток, среднегодовая температура неизменно понижается, зима становится все длиннее, лето – короче. Всё объясняется просто: влияние теплого атлантического воздуха все менее ошутимо по мере того, как мы переносимся в глубь материка. Воцаряется суровый континентальный климат. Очень заметно отличается и количество осадков, выпадающих в разных районах тайги. Поэтому ученые все чаще задаются вопросом: можно ли вообще рассматривать тайгу как единую экосистему?

В отличие от дождевых тропических лесов, поражающих своим буйством растительности, тайга кажется скучной. Подчас на обширных территориях можно встретить лишь деревья одного-двух видов. Сосны, ели, пихты, а в Сибири еще и кедровые сосны – вот они определяют облик тайги. Лишь там, где климат несколько мягче, можно встретить отдельные виды лиственных деревьев, в первую очередь березы и осины. Они более или менее успешно пытаются противостоять натиску хвойных деревьев.

Почва в тайге устлана плотным ковром из иголок и веток, достигающим порой полуметровой высоты. На разложение хвои в здешнем климате уходит приблизительно 350 лет. Почва гораздо медленнее освобождается от груза прошлого, чем в лиственных лесах. Там этот процесс протекает примерно в 20—100 раз быстрее.

Суровый таежный край, «северная пустыня». На первый взгляд, тайга – это унылый, безжизненный лес, опустелая даль, множащая километры сотнями и тысячами. На самом

деле животный мир тайги очень разнообразен, пусть она и уступает в этом отношении тропическим лесам. Здесь, в этой чащобе, среди непроходимого бурелома, поселилось множество зверей и птиц. Тайга для них – последнее прибежище в их вековом противостоянии с человеком. Здесь крадется тигр, бродят не потревоженные никем олени и лоси. Одних только птиц здесь обитает более 300 видов. Как же растения и животные выживают здесь? Как противостоят трескучим морозам? Как защищаются от врагов? Стратегии, применяемые ими, очень разнообразны.

Многие животные на время зимних холодов впадают в спячку. Другие, как, например, лось или северный олень, в процессе эволюции обзавелись «толстой шубой», позволяющей им даже в очень сильный мороз подолгу бродить по тайге в поисках пищи. Третьи меняют на зиму цвет своей шерсти, чтобы раствориться среди белоснежных просторов.

Вечнозеленые хвойные деревья также приспособились к жестокой зимней стуже. Например, хвоя осенью отвердевает. Это помогает ей выдерживать морозы до -40°C . Если бы не эта хитрость, хвоинки отмирали бы уже при 7° ниже нуля. Кроме того, плотный слой воска защищает эпидермис от высыхания в зимние месяцы.

Любопытную стратегию выбрала черная ель (*Picea mariana*). Ее скорость роста меняется в зависимости от внешних условий. Так, в северных районах тайги, где особенно холодно, в основном встречаются карликовые формы этого дерева, едва превышающие метр в высоту. В более теплых, южных районах это деревце превращается в подлинного гиганта, достигающего 20—50 метров в высоту.

Столь же изобретательна эта ель в вопросах продолжения рода. В нормальных условиях она размножается семенами. Однако если почва бедна питательными веществами или скована мерзлотой, то она размножается отростками. На ее нижних ветвях вырастают настоящие корни. Мало-помалу они превращаются в дочерние деревца, которые тянутся ввысь, словно свечи в канделябре. Странный вид имеет это семейство, выросшее из единого ствола. Лишь когда родительское дерево высохнет и отомрет, его молодая поросль даст настоящие корни, которые уйдут в землю. Вот так на месте упавшего дерева со временем вознесутся несколько новых стволов.

Неудивительно, что черная ель завоевала обширные территории США и Канады, расселившись в самых суровых северных областях. Так она превратилась в одно из наиболее распространенных деревьев бореальных хвойных лесов.

...Тайга велика, и все же ее будущее находится под угрозой. Виной тому не только глобальное потепление, но и массовая вырубка лесов, законная и незаконная.

В принципе, около 2 миллионов квадратных километров тайги во всем мире взято под охрану. Но это только на бумаге. Например, у нас в стране с ее огромными расстояниями даже охраняемые территории часто остаются без призора, а потому незаконные рубки леса продолжают. Древесина по самым низким ценам вывозится в Китай или Японию. При этом каждое пятое срубленное дерево не попадает даже на продажу. Большое количество леса попросту не успевают вывезти или теряют во время сплава (из-за этого на сибирских реках все чаще возникают заторы). Как утверждают активисты экологической организации «Гринпис», если нынешние темпы рубки таежных лесов в России сохранятся, то уже через 30—40 лет они здесь исчезнут!

Между тем, как подсчитали ученые, каждый год таежные леса нашей планеты поглощают около 2,6 миллиарда тонн углекислого газа. До тех пор пока тайга не будет уничтожена человеком, она, наряду с дождевыми тропическими лесами, останется важнейшим орудием, помогающим Земле регулировать климат и смягчать парниковый эффект. Гигантские лесные массивы – это тормозная система, встроенная в маховик глобального потепления. Мы же, не думая о последствиях, стремимся вырвать этот тормоз только потому, что нам, манья-

кам своих капризов, очень понравилась эта *деревянная штучка*. Мы хотим присвоить ее – и пустить всю «климатическую машину» под откос.

Зловещие тайны болот

Когда-то болота были обыденной приметой пейзажа, скрывались едва ли не за каждым леском. Теперь они находятся на периферии нашего внимания. Сегодня во многих странах обширные области, занятые прежде болотами, осушены. В Норвегии 15 % обрабатываемой земли – бывшие торфяные болота. В Швеции торфяники превратились в сенокосные и ягодные угодья, на них располагаются пруды и озера.

Мир болот постепенно исчез из нашей повседневной жизни. Чем же удивителен этот мир, что он по-прежнему вспоминается нам? Какую роль играли болота в круговороте природных стихий? Как приспособились животные, населившие экосистему болот, к особым условиям, сложившимся здесь? Болота ведь, хоть и кажутся нам мрачными и унылыми, на самом деле стали спасительным прибежищем для многих редких видов растений и животных, которым грозит вымирание. А какое влияние болота оказывают на климат нашей планеты? Нужно ли и дальше их осушать? Или эту необычную экосистему следует взять под охрану?

Как мы теперь знаем, болота накапливают большое количество углерода, а потому благотворно влияют на климат. Гораздо больше вреда окружающей среде они наносят, когда их осушают. Тогда весь углерод, который накапливался в них тысячелетиями, всего за несколько лет выделяется в атмосферу.

«Кажется, что болото – это свалка природы, полигон необычных явлений. Представляя собой опасность, болото хоронит опасность еще большую – глобальные запасы углерода, скопившиеся со времен последней ледниковой эпохи. Если он уйдет в атмосферу, человечество превратится в единый “Норд-ост”. Болото – это кладбище, город мертвых, который сторожит планету живых», – отмечал на страницах журнала «Знание – сила» эколог Анатолий Цирульников.



Влияние, оказываемое болотами на климат нашей планеты, во многом недооценивается

Между тем за последние 100 лет общая площадь болот на Земле уменьшилась почти в два раза и продолжает сокращаться в результате их осушения. Растут же болота очень медленно. Если взять из болота пробу отложений с метровой глубины, можно перенестись примерно на тысячу лет в прошлое – во времена Киевской Руси, к вятичам и кривичам.

Не случайно ученые называют болота уникальным архивом, хранящим, например, ценные сведения о том, как менялся климат Европы на протяжении последних 10 тысяч лет – с тех пор, как ледники, покрывавшие ее, отступили. Узнать это можно, анализируя остатки растений и их пыльцы, найденные в глубине болот. Ученым важно знать, каким был климат Европы до того, как человек своей хозяйственной деятельностью начал на него влиять. А может быть, мы и вовсе заблуждаемся, думая, что климат меняется по нашей вине? Может, нынешние изменения климата вписываются в картину тех естественных изменений, которые переживала Европа на протяжении последних тысячелетий?

Болота – это еще и исторический архив. Органические материалы – древесина, кожа, ткани, шерсть – могут долгое время сохраняться в болотах. Подобные находки – важный источник знаний о том, как жили люди в далеком прошлом.

Рабочие, занятые разработкой торфяных месторождений, время от времени обнаруживают здесь трупы. Сложилась даже особая научная дисциплина – «археология болот». Она занимается изучением останков людей, а также их орудий труда, их одежды и утвари, пролежавших там, в топкой глубине, многие столетия. Какие же тайны прошлого может хранить темный, непроницаемый мир болот?

В болотах одной лишь Европы обнаружены останки более 700 захороненных здесь людей, в основном их находили в полосе, протянувшейся от Нидерландов до Дании (речь идет о хорошо документированных находках). В отдельных случаях до нас дошли только скелеты погибших; вообще же многие тела сохранилось неплохо. Их кожа, волосы, мягкие ткани лишь изменили свой цвет, настоявшись на болотной воде, но по-прежнему отчетливо передают облик человека, жившего много веков назад. Порой мы без труда различаем даже черты его лица.

В большинстве случаев в болотах находят тела мужчин. Как правило, они сброшены в трясины уже после того, как были убиты. Иногда речь и впрямь идет о захоронении покойника, но чаще всего смерть предварялась убийством или казнью. У несчастного связаны руки, шея обмотана веревкой или же виднеются следы резаных или колотых ран. Это мог быть преступник, навеки наказанный на виду у соплеменников, или убитый лиходеем бедняк, или жертва теологических конструкций, отправленная навстречу богам по той топкой дороге, по которой ни один живой человек не может пройти.

В самом деле, в верованиях племен, населявших некогда лесное захолустье Европы, болота – именно недоступная человеку топь – представлялись местом обитания духов и божеств, этой естественной святыней, куда ни один тать или святотатец, даже если бы замыслил со всей хитростью, не мог бы пробраться. Сама природа, эта верная божествам стихия, охраняла туда путь, легко убивая нечестивцев. По предположениям антропологов, уже начиная с эпохи неолита первобытные люди почитают болота, приходят к ним, как к порталу запретного в своей глубине храма или же вратам преисподней, куда могут принести при случае дар – какую-то ценность или тело торжественно убитого человека. Обнаруженные жертвенные дары дают возможность судить о мифологических представлениях людей, живших здесь в глубокой древности, реконструировать их религию.

Самая известная мумия, найденная в болоте, – это «человек из Толлунда», обнаруженный еще в 1950 году в болоте под Силькеборгом (Дания) и теперь выставленный в местном музее. Предполагается, что он был принесен в жертву Тору.

Большинство «болотных людей» обрели свой последний зыбкий покой в железном веке – более 2000 лет назад. Ученые не располагают письменными источниками, повествующими о жизни людей Северной и Центральной Европы в ту эпоху – тем любопытнее заглянуть в подлинное окошко в тот мир, которое приоткрывается, стоит только отвести эту темную завесу воды. Лишь изучая эти древние мумии, мы можем понять, как жили люди той эпохи, какую одежду и обувь они выбирали, чем обычно питались, как причесывались, какое у них имелось оружие, а что они считали предметами роскоши, от каких болезней страдали и жили ли они в достатке или подолгу голодали.

Для исследователей, изучающих бытовую жизнь людей, населявших доисторическую Европу, очень любопытна одежда и обувь, которую приберегли для них погребенные здесь мертвецы. Ведь ни описаний, ни изображений этих повседневных предметов не сохранилось. Лишь топь болот достоверно передает дух эпохи, канувшей безвозвратно. Самое мимолетное из всех искусств – мода – вновь оживает, когда со дна болота поднимают еще одну такую зловещую, но заманчивую для ученых находку.

Осмотр одежды позволяет также исследовать историю развития ремесел, а содержимое желудка дает возможность изучить рацион этих людей, а еще понять, чем они, вероятнее всего, занимались – сельским хозяйством, собирательством, охотой. Еще очевиднее об этом говорят различные орудия труда и бытовые предметы, затерянные когда-то в цепкой пучине болот. Иногда в этих топях открывают и следы проложенных здесь дорог. По ним можно судить о том, как были связаны в далеком прошлом отдельные местности, населенные людьми.

Поистине болота хранят многие тайны природы и знают ответ на многие загадки истории, какими бы зловещими они нам ни казались.

Степь: ускользящая натура

Дикая степь... А еще унылая, скучная, навевающая тоску. Пустынный простор, втайне враждебный человеку.

Большинство из нас подсознательно боится одиночества, незащищенности, пустоты. А степь, где нет ни преград, ни границ, не дает человеку чувства надежной опоры. Здесь негде укрыться, не на что положиться. Степь ускользает из-под ног и убегает вдаль. С незапамятных времен она была прибежищем кочевых грабителей, вольных и дерзких воинов. Человек цивилизованный стремился не переступить границу степи, где легко было стать жертвой, пленником.

Но что же такое степь сегодня? Большинство географов объединяет под этим названием обширные безлесные равнины Евразии, а также североамериканские прерии и южноамериканскую пампу. Евразийская степь протянулась от побережья Черного до Японского моря, от устья Дуная до реки Амур. Обширные ее районы уже распаханы. Последние крупные участки, еще не тронутые человеком, сохранились только в Монголии и Казахстане.

Степь, прерия, пампа... За различными названиями скрываются лишь региональные различия. Всё это – величественные равнинные просторы, где редко встретишь деревце, а дожди выпадают нечасто. Всё это – область «самого-самого-самого». Бескрайний простор. Бесконечная даль. И конечно, удивительные перепады температуры, характерные для континентального климата: жаркое лето сменяется очень холодной зимой, жаркий день – холодной ночью. Суточный перепад может достигать 30°, а сезонный – даже 80°. Годовое количество осадков не превышает 400 миллиметров.

Зимние снегопады в степи важнее летних дождей. Ведь потоки талой воды преобразуют ее. Степь быстро покрывается растительностью, в последующие 4—5 месяцев являя собой поначалу зеленый, а вскоре уж и желтый, плотный ковер трав, словно вытканый бесчисленной ордой кочевников. К несменяемым пейзажам степи так точно подходят нескончаемые заунывные песни. В далеком прошлом величавый степной покой могла лишь изредка нарушить орда, пронесившаяся здесь, как пожар – по величественному простору леса.

Степь скучна? Так отозваться о ней мог лишь человек, впервые приехавший сюда и теперь обмирающий от растерянности, обводя равнину взглядом, как уставший пловец – гладь моря, и не умея ни за что зацепиться, потому что в степи не попадется ни островка леса, ни огородной отмели, ни домика, словно лодка, ныряющего среди травы. На самом деле степь, воспетая Гоголем и Чеховым, вовсе не скучна. Наоборот, она поразительно красива. Она полна жизни. Здесь произрастает более 1500 видов растений.

Степь очень плодородна. Недаром люди мечтали распахать эти бросовые, целинные просторы – и едва не погубили степь. Сегодня она – спасительный уголок для немногих уцелевших сайгаков и лошадей Пржевальского, когда-то населявших обширные области Евразии, а в наши дни оттесненных в глухие области евразийской степи. Ее просторы выручают и миллионы перелетных птиц, которые делают здесь остановку после изнурительного странствия, ведь степь – не пустыня, здесь всегда можно найти воду. Живительная степь, так ее можно было бы назвать.



Бескрайние просторы Великой степи, простирающейся от Черного моря до пустыни Гоби, наполнены жизнью

В последние десятилетия человек ведет неуклонное наступление на евразийскую степь. Ее плодородная почва стала для него невыносимым соблазном. Чем это может грозить и самой степи, и ее исконным обитателям? Сохранится ли эта экосистема в своем первоначальном виде? Или будет уничтожена нами?

Целинные – степные – земли начали распахивать в СССР в 1954 году. Эта политическая кампания нанесла тяжкий ущерб природе. Некоторые экологи сравнивают ее с нынешней вырубкой тропических лесов в бассейне реки Амазонка. Пострадавшие от вмешательства человека обширные участки степи не восстановили своего плодородия до сих пор, шесть десятилетий спустя.

В ходе этой кампании было распахано 41,8 миллиона гектаров степных земель. Однако мечты разошлись с действительностью. В неурожайные годы на целине не удавалось даже собрать посевной фонд.

Причиной неудач стали климатические условия, на которые поначалу не обращали внимания, считая чем-то маловажным на фоне энтузиазма, подогреваемого в переселенцах. Пыльные бури, регулярно поднимавшиеся в степи, буквально сметали верхний, плодородный слой почвы. Засухи, неизменно окрашивавшие просторы степи в желтые тона, мешали зерну наливаясь силой. Без дополнительного орошения степные поля приносили мало урожая, не окупая затраченных стараний. Пришлось заниматься еще и ирригацией, вносить в почву все больше удобрений.

Многочисленные оросительные каналы породили еще одну проблему. Почва стала пропитываться солью. Кроме того, вода, заливавшая поля, смывала все тот же многострадальный гумус – тонкий плодородный слой, ради которого и затевалась вся эта вспашка пустовавших от века земель. Степная почва деградировала.

Между тем стада крупного рогатого скота, содержащиеся целинными совхозами, нещадно вытаптывали оставшиеся нераспаханными просторы степи. На глазах она превращалась в пустыню, поскольку неумелые методы хозяйствования значительно ускорили процессы эрозии.

После распада СССР многие целинные поля и вовсе пришли в запустение. У новых независимых государств в 1990-х годах часто не было средств, чтобы инвестировать их в ремонт оросительных систем, без которых земледелие в засушливой степи оказалось невозможным. Целинные земли снова стали зарастать, покрываться степным бурьяном.

Когда-то, до того, как человек начал обживать в евразийской степи, по ней бродили бесчисленные стада тарпанов и куланов, сайгаков и джейранов. Однако на ее просторах они оказались беззащитны перед людьми. Дикие лошади (тарпаны) уже 100 лет как вымерли, дикие ослы (куланы) и степные антилопы (сайгаки) находятся теперь на грани вымирания.

Численность сайгаков резко сократилась уже к началу XX века. В Советском Союзе эти животные были взяты под охрану. С 1919 года охота на них была полностью запрещена. Это привело к тому, что в 1940-х годах начался взрывообразный рост их популяции. К середине 1950-х годов их поголовье оценивалось примерно в 2 миллиона особей.

Распад СССР стал подлинной катастрофой для сайгаков. Всего за каких-то 10 лет почти вся огромная популяция была перебита. Уже к 2002 году их оставалось около 20 тысяч, причем количество самцов составляло всего от 1 до 10 % от общего поголовья. Печальный рекорд! К этому времени сайгаков внесли в самую страшную категорию Красной книги – список видов, находящихся под угрозой исчезновения, спасение которых невозможно без осуществления специальных мер.

Сегодня сохранились небольшие популяции сайгаков в Казахстане, Узбекистане, России (в Калмыкии и Астраханской области), а также Монголии. Сайгаки превратились в эндемичный вид. Теперь их можно встретить лишь в отдельных уголках евразийской степи – и больше нигде. Виной всему стало массовое браконьерство, процветающее в независимых республиках Средней Азии.

В последние годы численность сайгаков возросла. В 2010 году их насчитывалось уже, по разным оценкам, от 50 до 100 тысяч особей. Впрочем, в том же 2010 году на границе Волгоградской области и Казахстана от эпидемии погибло 12 тысяч сайгаков. Ни природная осторожность, ни быстрый бег (в минуты опасности сайгак мчится со скоростью 60—80 километров в час) не могут защитить эту антилопу от человека. Что ее ждет в ближайшие годы? Что ожидает степь, эту ускользающую натуру?

Тайны соленых озер

У этих озер, как бы они ни назывались, озеро Моно, Мертвое море или озеро Ассаль, есть одна общая черта. Всё это – внутренние водоемы, но показатель солености их воды таков, что даже морская вода покажется пресной по сравнению с ней. Как правило, соленые озера располагаются в пустынях или засушливых областях.

Как же возникают подобные озера? В самом ли деле они мертвы? Или жизнь может приспособиться даже к таким враждебным для нее условиям?

Ученые давно исследуют соленые озера, открывая в их глубинах самые необычные феномены. Известно, что Мертвое море обладает удивительными целебными свойствами. Купание в его водах помогает излечить даже такие кожные заболевания, как нейродермит или чешуйчатый лишай (псориаз). Химический анализ показывает, что эта вода содержит громадное количество растворенных в ней минералов и солей. Ее соленость достигает 28 % – это почти в 10 раз выше, чем в Мировом океане. Как же образовался такой солевой раствор? Главную роль сыграли геологические условия и климат.

Воды Иордана постоянно приносят в Мертвое море пресную воду, но ни одна река не вытекает из него. Это озеро заполняет громадную впадину, лежащую на границе между Израилем и Иорданией. Климат здесь очень жаркий и засушливый, а потому большая часть свежей воды, попавшей в озеро, вскоре испаряется. Зато минеральные вещества и соли, присутствовавшие в ней, остаются. Ученые полагают, что содержание соли в Мертвом море со временем будет лишь нарастать. К тому же из-за хозяйственной деятельности человека Иордан очень заметно обмелел. Количество пресной воды, притекающей в Мертвое море, теперь заметно ниже количества испаряющейся здесь воды. Уровень Мертвого моря падает, а это лишь повышает его соленость.

И все же Мертвому морю пока далеко до рекорда. Содержание соли в озере Ассаль (оно расположено во впадине Афар, близ побережья Красного моря) составляет 35 %. Из-за чудовищной жары, царящей здесь (порой столбик термометра показывает свыше 50 °С), вода в озере испаряется особенно быстро. Пополняется же она за счет многочисленных подземных источников, которые изобилуют минеральными веществами.



Мертвое море обладает удивительными целебными свойствами

Но и это озеро нельзя назвать самым соленым в мире. Перенесемся в Антарктиду, в долину Райта. Даже в летние месяцы столбик термометра лишь изредка поднимается выше нулевой отметки. В 1961 году в этой сухой долине было открыто небольшое озеро площадью всего 0,03 квадратного километра, заполненное жидкой водой, несмотря на то что температура опустилась до -25°C . Химический анализ показал, почему озеро Дон-Жуан не замерзает. Содержание соли в его воде составляет 44 %. Такая вода может замерзнуть лишь при -53°C . Питается это озеро грунтовыми водами, соленость которых очень высока.

В 2010 году удивительное открытие было сделано в Калифорнии, в расположенном здесь соленом озере Моно, чья площадь превышает 180 квадратных километров. Его вода содержит такое большое количество мышьяка, что здесь не могут выжить даже рыбы. В этом озере ученые из НАСА и обнаружили бактерию (она получила условное название GFAJ-1), которая вполне могла бы прижиться на некоторых других планетах Солнечной системы.

Анализ, проведенный с помощью масс-спектрометра, показал, что во фракциях, которые содержат ДНК и РНК этой бактерии, присутствует мышьяк. Исследовательница Фелиса Вольф-Саймон интерпретировала открытие так: в организме бактерии мышьяк встраивается в нуклеиновые кислоты и заменяет здесь фосфор. Иными словами, этот микроб – первый известный нам организм, который построен иначе, чем все остальные живые существа. Может быть, подобные организмы с ДНК, состоящей совсем из других, непривычных для нас химических элементов, населяют далекие миры? Уж не имеет ли бактерия GFAJ-1 внеземное происхождение?

Само по себе озеро Моно словно перенесено на Землю с другой планеты. Его вода не только очень соленая (7,9 %), но и напоминает, скорее, щелочь. Ее водородный показатель равен 10. Только в таком озере, наверное, и могут встретиться организмы, которых нет больше нигде на Земле. Или это не так?

Тайна этой бактерии открылась самым неожиданным образом, когда почти два года спустя были опубликованы результаты повторного анализа. Из них явствовало, что в препарированных образцах ее ДНК действительно присутствует арсенат (соль ортомышьяковой кислоты), но мышьяк никак не встроен в ДНК. Подобные микроорганизмы хорошо переносят мышьяк, но он вовсе не составляет основу их биохимии.

Но, может быть, верно другое предположение? Именно соленые озера едва не погубили жизнь на нашей планете? Около 250 миллионов лет назад произошла одна из крупнейших катастроф в истории Земли. В то время все части суши составляли один громадный континент – Пангею. На его просторах установился резко континентальный климат. Здесь почти не было экологических ниш, где могли бы укрыться отдельные виды животных. В центральных районах материка простиралась гигантская пустыня. Обширные области современной Европы занимало мелководное соленое озеро – Цехштейнское море. Его площадь составляла примерно 600 тысяч квадратных километров, то есть была больше площади современной Франции. Возможно, именно подобные озера (настоящие моря!) и стали причиной массового вымирания животных?

Ученым известно, что среди микробов, населяющих современные соленые озера, есть специфические виды, которые вырабатывают такие ядовитые газы, как хлороформ или трихлорэтан. Эти же газы синтезировали и древнейшие археобактерии, выделяя их потом в воды озер, где они обитали, а поскольку вода в таких озерах быстро испарялась, то ядовитые газы, в конце концов, попадали в окружающую среду.

По расчетам ученых, одно лишь Цехштейнское море каждый год выбрасывало в атмосферу не менее 1,3 миллиона тонн соответственно трихлорэтена и тетрахлорэтена, 1,1 миллиона тонн хлороформа и 0,05 миллиона тонн трихлорэтана. Это во много раз больше того количества, которое поступает в атмосферу сегодня в результате нашей промышленной деятельности.

Все эти газы губительны для растений, которые и без того подвергались сильнейшему стрессу, поскольку росли в очень засушливом климате. Растительность гибла, почва становилась легкой добычей эрозии, и пустыня все расширялась. Около 250 миллионов лет назад площадь, которую занимали соленые озера и моря, была особенно велика. Эти водоемы выделяли громадные количества ядовитых газов – галогенсодержащих углеводородов. Подобные соединения не только уничтожали растительность, но и разрушали озоновый слой в атмосфере, а также были причиной гибели множества животных.

Одновременно началось одно из крупнейших вулканических извержений в истории Земли. Обширные области суши покрылись почти полуметровым слоем лавы. Для животного мира нашей планеты наступили страшные времена. Жертвами «Пермской катастрофы» стало около 90 % всех видов растений и животных. Споры о причинах, породивших ее, продолжают.

Жизнь же постепенно возвратилась на нашу планету только после того, как большинство соленых озер и морей высохло. Между прочим, эти древние микробы и сегодня живут в таких озерах, например в Мертвом море. Начавшиеся климатические изменения способствуют образованию все новых соленых озер, а значит, в очень отдаленной перспективе та давняя катастрофа могла бы повториться, пусть и не в таких масштабах.

Чудеса пустыни

Почти треть всей суши покрыта пустынями и полупустынями. Их мир враждебен человеку, но бесконечно грандиозен. Пустыня – это окаменевшее море, свободная, но грозная стихия. Пока еще она мало понята нами. Нужно приглядеться к этой бескрайней дали, занесенной песком, чтобы обнаружить там... чудеса.

Среди земных ландшафтов пустынный – один из самых зыбких. Очертания пустынь на географических картах ширятся от столетия к столетию. Их безмолвная даль – это посмертное молчание степи. И потому ученые строят мрачноватые прогнозы.

Самая крупная из пустынь – Сахара – сравнится по площади с США. Каждый год она ведет себя все беспокойнее. Она стирает с географической карты всё новые оазисы, деревни и города. На смену человеческой культуре приходит желтое безмолвие.

Пустыня беспощадна. Там не найти надежду. Взгляд тонет в череде сыпучих волн. Жара, жажда, сушь, безысходность, бессилие, пустота, запустение – вот ключевые слова, вспоминаемые при одном приближении к пустыне. Однако в душах людей, побывавших здесь, рождаются и другие определения; они расплывчаты, неясны, как и сама пустыня: «уникальная», «непостижимая», «величественная». Молчание и покой, царящие всюду; краски и формы, разлитые вокруг, – всё это удивляет, побуждает задуматься.

«Земля же была безвидна и пуста» (Быт. 1: 2), – сказано в Библии. Сказано как о современной пустыне. Однако так было не всегда. Под слоем песка и коростой камня могут скрываться неизвестные миры, отнятые у людей стихией.

За свою историю та же Сахара не раз покрывалась травой, чтобы вновь превратиться в пустыню. словно легендарный феникс, она умирала и затем воскресала. Так, 10 тысяч лет назад она представляла собой поистине цветущий рай. Однако несколько тысячелетий спустя произошла климатическая катастрофа, и райские сады канули в море песка. Немногие животные приспособились к этой перемене. Слонов в Сахаре не осталось. Зато ее просторы бороздят «корабли пустыни» – верблюды. Они научились запасаться водой, подолгу обходясь без питья.



Среди земных ландшафтов пустынный – один из самых зыбких

Иногда обитателям пустыни хватает смекалки, чтобы добывать влагу... прямо из воздуха. Так, в африканской пустыне Намиб за год выпадает всего 10 миллиметров осадков. Но именно здесь произрастает вельвичия удивительная – карликовое деревце, которое знаменито тем, что научилось «пить» пелену тумана, а он тут нередок. Он образуется, когда холодные воды Бенгельского течения, зародившегося в Антарктике, достигают берегов Африки. Клубы тумана разлетаются в глубь пустыни. Их и ловит вельвичия. На обеих сторонах ее листьев, достигающих в длину от 2 до 4 метров, имеется множество устьиц (до 22 тысяч на квадратный сантиметр). Во время тумана они раскрываются, и влага затекает в них.

В пустыне можно умереть не только от жажды, но и от ожогов. Песок под ногами прямо «горит». Выручают разные хитрости. Так, чакская филломедуза, обитающая в пустынях Южной Америки и принадлежащая к семейству квакш, смазывает себя выделениями, напоминающими воск, – и этим защищается от ожогов. Многие животные в дневные часы попросту зарываются в норы, сохраняя себе жизнь.

А жизнь существует даже в самых непригодных для нее пустынях. Так, в 2012 году испанские ученые обнаружили в пустыне Атакама, в 2—3 метрах от поверхности земли, популяцию археобактерий. Они никак не рассчитывали отыскать их колонию здесь, среди залежей каменной соли, куда не проникают ни кислород, ни свет. Однако особая форма обмена веществ позволяет микроорганизмам обходиться без кислорода. Они поселились на тончайших водяных пленках, которые покрывают кристаллики минералов. Подобные колонии микроорганизмов могли бы прижиться и на Марсе.

Даже песок в пустыне кажется живым. Временами здесь раздается странная музыка: режут трубы, бьют барабаны, гудит орган. Иногда в этот оркестр вмешиваются посторонние звуки: кажется, будто грохочут пушки или вздрагивает гром. Что это? Обман чувств? Мираж слуха? Нет. Море песка, раскинувшееся вокруг, творит музыку, как искусный композитор.

Итальянский путешественник Марко Поло, пересекший всю Азию, среди чудес, встреченных им, упоминает «таинственные голоса злых духов и демонов», доносившиеся до него из пустыни. Исследователи из США и Италии попытались понять, почему над этим уединенным краем порой разносится симфония невидимого оркестра. Оказалось, когда в пустыне начинается буря и песчинки приходят в движение, они постоянно сталкиваются, цепляются, трутся. Их соударения отзываются неслышным эхом. Но счет ударов идет на миллионы, и они разрывают тишь, складываются в какофонию, в которой мы угадываем трубы, барабаны, а то и пушки.

В старину многие считали волшебством и появление миража – кознями злых демонов, завладевших безлюдной далью пустыни. По одной из гипотез, знаменитая библейская сцена – исход евреев из Египта по водам Красного моря – тоже объясняется не чем иным, как миражом. Когда толпы евреев двинулись вдаль, египтяне увидели, что у горизонта расстилается серебристая полоса воды. Вот уже первые ряды уходящих поравнялись с берегом, вошли в воду, двинулись дальше, но море не погубило их. Свершилось чудо Господне! Прошли *«сыны Израилевы среди моря по суше»* (Исх. 14: 16).

Наука объясняет феномен миража аномальным преломлением световых лучей. Близ поверхности земли воздух очень сильно прогревается. Это и порождает необычный эффект. Если вдаль, например, видны пальмы, то нам кажется, что они растут на берегу озера, и в его водной глади отражаются эти деревья. Так, жарким летним днем, мчась в автомобиле по раскаленному шоссе, видишь, что там, у горизонта, автострада залита водой.

Но иногда в пустыню и впрямь приходит вода, преображая ее. В той же Атакаме после внезапного дождя обнаруживали даже растения, которые считались вымершими, например альстремерию, «лилию инков». В американской Долине смерти после ливня, которого ждут годами, вся пустыня за одну ночь покрывается травами и цветами. Здесь можно встретить более тысячи видов растений, в том числе лилии, орхидеи или калифорнийский мак с его

оранжевыми бутонами. В эту краткую пору цветения обнаруживается, как же богат мир животных, населяющих пустыню, чуждую, казалось бы, всему живому.

На самом деле пустыня убивает чужаков. Она – огромная западня, расстеленная для пришлых. Свои же привыкают к ее гневу и милости, как подданные грозного царя. Они научились выживать, потому что даже нрав стихии предсказуем, а опасность ожидаема.

Тысячелетиями кочевники населяют пустыню, и им ее гиблая даль в радость. Они находят здесь кров и пищу. В мелькании барханов они ориентируются так же легко, как мы в символах географической карты. Цвет и форма песчаных холмов – их дорожные знаки, повинующимся которым они уверенно гонят караван от одного оазиса к другому. Кажется, что здесь они не заблудились бы даже на ощупь.

В горниле пустынь были выкованы удивительные племенные культуры. Люди приспособились к хитрому норову песков. Едва они научились различать этих «ползучих демонов» по одной лишь расцветке или прикосновению, как те потеряли власть над людьми, стали неопасны.

Однако в наши дни эти культуры гибнут. В течение последних полутора веков жизнь диких народов Азии и Африки решительно переменилась. Колонизация и цивилизация стали Сциллой и Харибдой, притаившимися у рубежа Нового времени. Минуя их, народы теряли «пережитки прошлого» – традиции, которые копились тысячелетиями.

Загадочная власть гор

С глубокой древности люди селили своих божеств на горных вершинах. Можно вспомнить античный Олимп или гору Синай, где Моисей получил свои «скрижали откровения». Вспомнить японскую гору Фудзи, которую в национальной религии – синтоизме – почитают как святыню, или гору Арарат, приютившую Ноя после потопа.

Неизменно Бог нисходит туда, где небо встречается с землей. Горы – это престол, воздвигнутый Им для себя. Своим размахом и архитектурой горные вершины напоминают знаменитые соборы Средних веков. Только они мощнее и выразительнее, чем все, что способен построить человек. Они соединяют нас с небом, а церковные здания лишь символически намечают эту связь. Если рукотворный шпиль обещает встречу с Богом, то природная круча стремится к Нему.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

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