

# ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА:

## Зачем нам водород?

Водород по праву считают топливом будущего, ибо при его сгорании получается только вода. Представьте себе автомобиль, двигатель которого выбрасывает не вредные оксиды азота и угарный газ, а всего лишь безобидные пары воды. Это ли не решение большей части экологических проблем? Такие автомобили на водороде уже работали в 1980 году на Московской олимпиаде и обслуживали легкоатлетов на длинных дистанциях. Это были обычные «рафики» с обычными двигателями внутреннего сгорания, у которых, помимо баков с бензином, имелись емкости (дюары) с жидким водородом.

Однако это — уже прошлый век, и следующее столетие обещает нам совершенно фантастический автомобиль. Оказывается, еще в конце XIX века был известен способ получения электрической энергии непосредственно от реакции взаимодействия водорода с кислородом. Уже тогда знали, что если водород и кислород (кислород воздуха) разделить проницаемой электролитической мембраной, то реакция образования воды на этой мембране будет проходить без выделения тепла, но с выделением электричества. Сегодня топливные ячейки такого типа (Fuel Cells) настолько усовершенствованы, что именно от них получают бортовую энергию американские «космические челноки».

Теперь представьте себе автомобиль, оснащенный такими топливными ячейками, — электромобиль с компактным электродвигателем и баком для водорода. У такого авто никогда не застучит двигатель, у него не может быть проблем с заводкой, ему не нужна коробка передач (как она не нужна троллейбусу). У него нет выхлопной трубы, поскольку нет самого выхлопа, а потому он бесшумен, и единственное, что он выделяет вовне, — это дистиллированная вода, которую можно пить. У такого автомобиля кондиционер (или печка) могут работать независимо от двигателя, поскольку эти устройства автономны и питаются электричеством от тех же топливных ячеек.

И такой автомобиль уже создан. На его разработку фирма «Дженерал моторс» потратила свыше 50 млн. долларов. Пя-



# ПРА бурить скважины

тиметровый в длину красавец GM Precept на одной заправке водородом преодолевает свыше 800 км и, несмотря на свои габариты, имеет прекрасные динамические качества. Помимо всего прочего, автомобили такого типа потрясающе экономичны, КПД их двигателя достигает 85%, тогда как из современного бензинового движка нельзя выжать более 40%. Остальная энергия попросту выбрасывается в атмосферу в основном с выхлопом раскаленных газов (какое расточительство, не правда ли?).

Итак, водород как основной источник энергии чрезвычайно привлекателен, однако на Земле он существует в виде химических соединений и, прежде всего, той же воды. А чтобы получить водород из воды, необходимо затратить энергию на разрыв его химической связи с кислородом, то есть провести электролиз. Наши читатели хорошо знают, что электролиз — процесс весьма энергоемкий, и последующее сжигание водорода не восполняет энергию, потраченную на его получение. Выходит, что нечего огород породить: гораздо выгоднее использовать энергию напрямую. В самом деле, кто будет производить продукт, если заведомо известно, что затраты в 1,5–2 раза превысят выручку. Это обстоятельство и сдерживает развитие водородной энергетики. Что же получается? Водородная энергетика — это все-таки миф?! Но давайте немного поворемим с приговором.

А между тем энергетические и экологические проблемы обостряются год от года, и сегодня жители России чувствуют это уже на собственной шкуре. Давайте посмотрим, чем мы сегодня расплачемся. Нефть и газ близки к исчерпанию. Сжигание угля и мазута провоцирует кислотные дожди и парниковый эффект. Энергия «мирного атома» таит

в себе опасность, пусть и небольшую, радиационного загрязнения. Есть еще так называемые альтернативные (или возобновляемые) источники энергии: геотермальная, солнечная, а также энергия ветра и воды, но в будущем они будут играть только вспомогательную роль, поскольку не смогут обеспечить в полной мере потребности человечества.

Вот если бы нашелся принципиально новый способ получения водорода, который позволил бы сделать топливо будущего дешевле бензина... А еще лучше найти месторождение водорода, чтобы качать его из недр подобно тому, как мы качаем нефть и газ. «Фантастика!» — скажете вы. А между тем уже сегодня точно известны места на планете, где можно действительно качать водород из недр. Есть такое «месторождение» и в России — в Тункинской впадине, находящейся в Байкальской зоне рифтогенеза. Осталось только начать бурить...

## Все дело в аномалии

Еще в 80-х годах доктор геолого-минералогических наук В. Ларин предложил извлекать водород из глубин Земли, и для многих геологов это выглядело надуманной сенсацией, не имеющей под собой никаких оснований. В самом деле, откуда быть водороду в каменной тверди планеты? Однако высокое академическое содействие, состоявшееся в Геологическом институте РАН в октябре 1989 года, после доклада В.Н.Ларина и его обсуждения единодушно постановило: «Рекомендовать сверхглубокое бурение (до 10–12 км) в области современного рифтогенеза, поскольку таковое в пределах рифтовых зон вплоть до настоящего времени не проводилось. Предложить в качестве объекта Тункинскую впадину, где <...> бурение



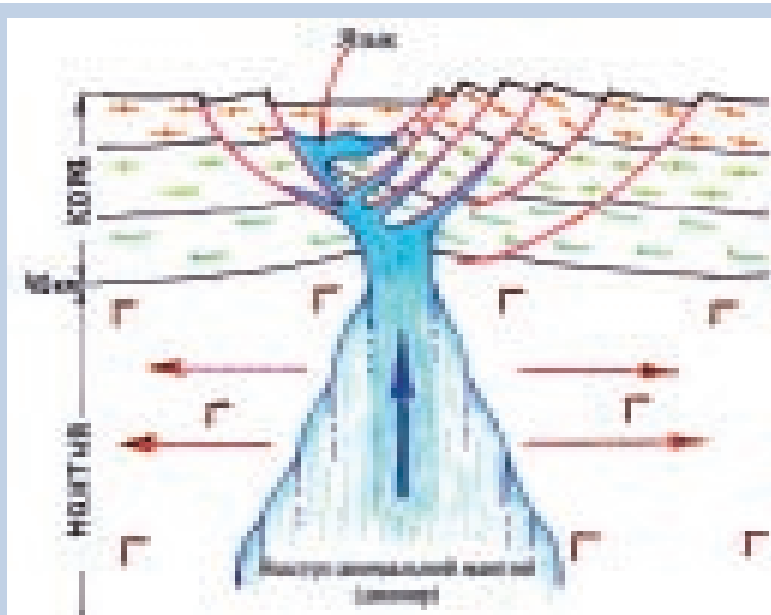
## Нас учили танцевать от печки, а самая большая печь – это домна

На самом деле, никто не знает, как устроена Земля, потому что никто еще не заглянул в ее сердцевину. Принято считать, что ядро Земли – железное, оболочка ядра – силикатная. Однако верность этой посылки, принятой априори в начале XX века, никогда не была доказана. Трудно, конечно, поверить, что самое фундаментальное положение в науках о Земле принято без должного фактического обоснования и по сию пору остается всего лишь умозрительной гипотезой, некогда рожденной натурфилософскими размышлениями. Вспомним, что одним из чудес начала века был доменный процесс. Посмотреть, как плавят металл в печи, приходила и аристократическая публика. Раскаленная масса металла в домне стекала вниз, а шлаки (силикаты и оксиды) всплывали. Это впечатляло и наводило на идею провести аналогию с процессами в недрах нашей планеты. Так доменная печь стала своего рода наглядной моделью строения Земли: ядро – железное, оболочка ядра – силикатная. И все «танцы» в науках о Земле начинаются именно от этой печи.

Возможно, эта идея не потеряла своей привлекательности и сегодня, но подобные аналогии вряд ли имеют доказательную силу. Отсутствие должного обоснования в науках о Земле побудило В.Ларина искать факты, говорящие либо «за», либо «против» более определенно. В результате на свет появилась новая теория строения Земли, которая объясняет глубинные причины всего спектра геологических явлений и, как положено хорошей теории, имеет предсказательную силу.

### Факты, одни только факты и ничего, кроме фактов

Состав Земли, как и составы других планет, были определены при формировании протопланетного диска. Но понимание именно этого процесса дается нам особенно трудно, если не сказать, что



1  
Глубинное строение рифтовой зоны (поперечный разрез)

может иметь исключительно большое значение для энергетики и экологии, так как позволит оценить и проверить научно обоснованную возможность обнаружения принципиально нового и экологически чистого энергоресурса (тепла и водорода), могущего составить конкуренцию традиционным энергетическим источникам... Для уточнения конкретного места бурения рекомендовать в сжатые сроки провести дополнительные геофизические исследования в Тункинской и Муя-Куандинской рифтогенных впадинах (травиметрические, сейсмические, а также глубинное электромагнитное зондирование)».

Но вернемся к фактам, которые убеждают. А факты таковы: в районе Тункинской впадины глубинное электромагнитное зондирование выявило на глубине 5–6 км обширную зону с аномально высокой электропроводностью, вещественная природа которой так и не была выяснена. Аналогичные зоны с аномальной проводимостью отмечаются во всех молодых рифтогенных структурах планеты, но на несколько больших глубинах, до 15–20 км. Геофизические исследования показали, что такие зоны снизу подпираются диапирами (выступами, рис. 1) аномальной мантии (с пониженными плотностью и скоростями сейсмических волн). Это глубинное аномальное вещество мантии Земли внедряется в виде языков в земную кору и подходит достаточно близко к поверхности.

Но в чем причина аномально высокой электропроводности? По мнению В.Н.Ларина, эти языки заполнены бескислородными соединениями и сплавами на основе кремния, магния и железа (в пропорции 3:2:1), которые имеют именно такой, полупроводниковый, характер проводимости. И если это предположение подтвердит-

ся бурением, то тогда мы действительно получим возможность качать из Земли «горячий водород», ведь кремний и магний при взаимодействии с водой выделяют водород и тепло. Для этого достаточно пробурить две скважины – по одной закачивать воду, а по другой – отводить нужный нам газ (рис. 2). Вот вам и месторождение водорода и тепла в придачу. Таким способом можно будет производить водород, не только затрачивая минимум энергии, но еще и получать ее попутно и в больших количествах.

Кстати, в Сибирском отделении АН СССР даже сделали предварительную технико-экономическую оценку такого «месторождения». Она показала, что если прогноз о наличии бескислородных сплавов на доступных глубинах подтвердится, то с 10 квадратных километров территории можно будет получать по 100–200 миллионов тонн условного топлива в год, и что в перспективе ожидаемый энергоноситель может оказаться конкурентоспособным на энергетическом рынке.

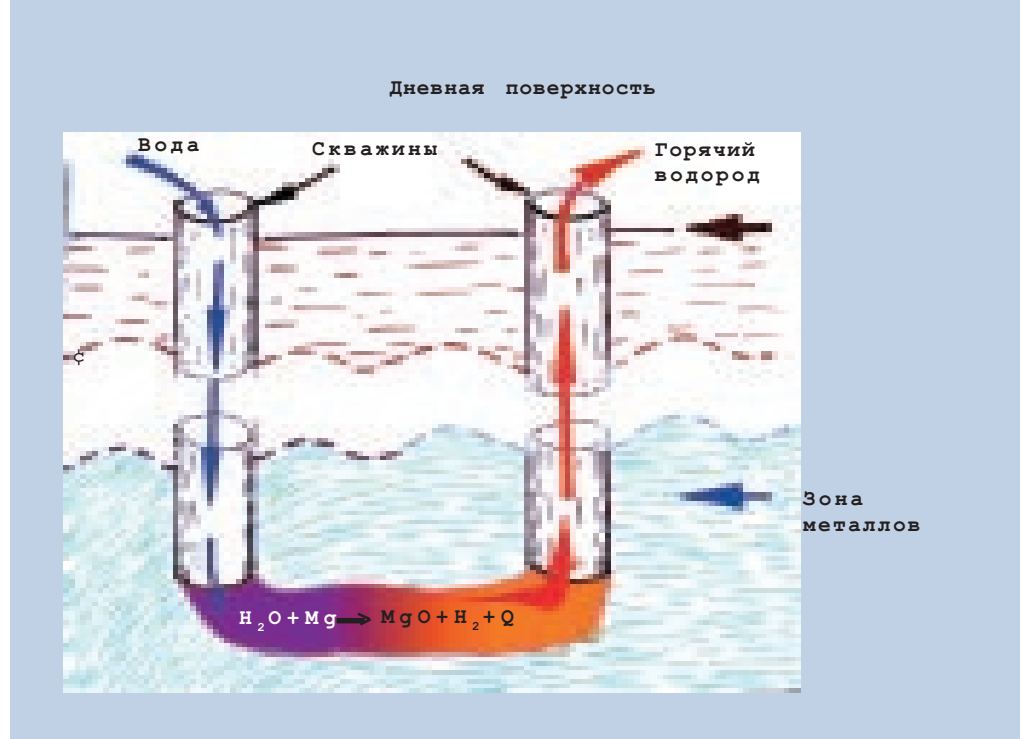
К сожалению, никакого бурения не начали, поскольку решение принимали в конце 1989 года, а что произошло потом, вы и сами прекрасно знаете. Тут уже было не до бурения. Впрочем, начать никогда не поздно, а в нынешних условиях энергетического кризиса так просто пора. Тем более что за последние 10 лет идея В.Н.Ларина не только не утратила силу, но и окрепла, поскольку базируется она на стройной и весьма убедительной новой теории строения Земли. Она-то и даст нам ответ на вопрос, откуда в недрах рифтогенных зон появились эти самые бескислородные интерметаллические соединения и сплавы.

2  
Принципиальная  
схема получения  
«горячего водорода»

не дается вообще. Об этом свидетельствует само множество космогонических концепций, часто взаимоисключающих. И беда в том, что мы не можем подвергнуть их экспериментальной проверке, то есть тестированию на эмпирически установленных фактах. Но как же без этого?

Однако в этом море неопределенностей есть одно исключение, которое, похоже, можно проверить. Это великолепная идея Фрэда Хойла (Fred Hoyle), блистательного астрофизика, нобелевского лауреата и писателя-фантаста, которую он высказал в конце 50-х годов XX века. На определенном этапе формирования Солнечной системы исходное рассеянное вещество благодаря силам гравитации собралось в более плотную туманность, небулу (синонимы – протосолнечное сгущение, или Прото-солнце), которая имела форму двояковыпуклой линзы и быстро вращалась. Край этого сгущения находился примерно там, где сейчас пролегла орбита Меркурия. По мнению Хойла, на стадии формирования протопланетного диска у протосолнечной небулы существовало мощное дипольное магнитное поле, а вещество небулы было частично ионизировано. В этом случае магнитные силовые линии исполняли роль каркаса в системе, как спицы в колесе, и поддерживали одинаковую угловую скорость во всех частях вращающейся небулы. Это и приводило к отделению (сбросу) протопланетного диска. Вспомните, как эффектно тормозит свое быстрое вращение фигуристка на льду, позволяя рукам разлететься в стороны. Здесь, как и в случае небулы, механика одна и та же, и оба явления описываются одними и теми же формулами

Немного найдется идей в космогонических построениях, которые можно подвергнуть экспериментальной проверке. Но именно такова идея Хойла! Схема этого теста удивительно проста. При формировании протопланетного диска стекающее с протосолнечной небулы вещество должно было двигаться поперек магнитных силовых линий (рис. 3). Ионизированные, то есть заряженные, частицы не могут пересекать магнитные силовые линии, поэтому они захватываются магнитным полем и останавливаются в нем, в то время как нейтральные



атомы свободно проходят через магнитное поле. Однако атомы различных химических элементов различаются и по склонности к ионизации. К примеру, атом цезия может потерять свой электрон от света свечи или керосиновой лампы, тогда как атом гелия может оставаться нейтральным и в непосредственной близости от звезды. Таким образом, если Хойл прав, то при формировании протопланетного диска элементы, которые ионизируются легко, должны быть остановлены в околосолнечном (околопротосолнечном) пространстве, где располагаются сейчас планеты земного типа, а в более удаленных зонах должны преобладать элементы, которые трудно ионизируются. Напомним, что способность того или иного элемента к ионизации оценивается либо энергией, которую необходимо затратить для отрыва от атома первого электрона, либо потенциалом ионизации первого электрона. В справочниках энергия ионизации приводится в электрон-вольтах, а потенциал ионизации – в вольтах.

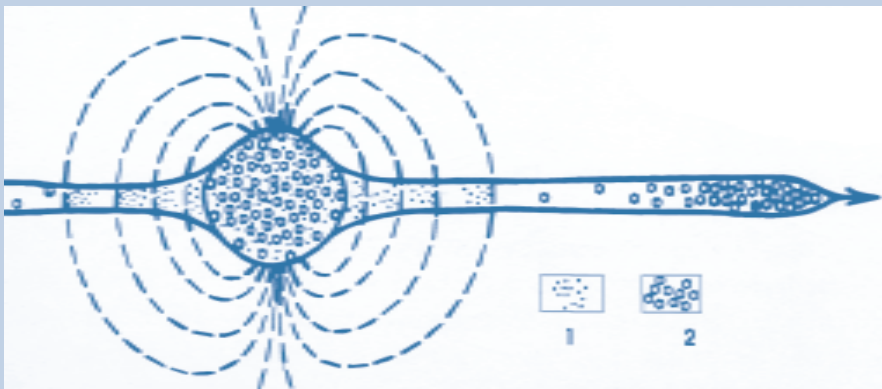
У нас есть возможность проверить идею Хойла. Для этого необходимо провести ревизию данных о химических составах тел Солнечной системы. Само собой, для рассмотрения будем брать только надежные эмпирические, то есть аналитически установленные, результаты. Какими же данными мы сегодня располагаем? Во-первых, благодаря спектральному анализу нам известен состав фотосферы Солнца. Фотосфера отражает состав внешней зоны конвективного перемешивания, а в этой зоне заключено примерно 70% объема звезды. Во-вторых, на Земле нам доступен материал только ее внешней геосферы до глубины 200 км (обломки глубинных пород из кимберлитовых трубков взры-

ва). В-третьих, образцы, собранные на Луне, позволяют судить о составе ее внешней оболочки. И наконец, по коллекциям метеоритов нам хорошо известен пояс астероидов, который отстоит от Солнца в три раза дальше Земли. Данные по другим объектам Солнечной системы пока еще слишком фрагментарны.

Итак, мы знаем лишь кое-что о Земле и Луне, но достаточно полно представляем состав Солнца и удаленного от него (на три астрономические единицы) пояса астероидов. Проведем сопоставление этих составов в парах: Земля – Солнце, Земля – пояс астероидов и Земля – Луна. По оси ординат откладываем относительную распространенность элементов, по абсцисс – их первые потенциалы ионизации. Результаты представлены на рисунках 4, 5, 6. Посмотрите на них внимательно, они того стоят. И что же мы видим? Оказывается, в Солнечной системе распределение элементов действительно зависит от их потенциалов ионизации. Выходит, Хойл был все-таки прав.

Теперь можно представить, как протекал процесс магнитной сепарации элементов по их потенциалам ионизации, который и предопределил составы тел планетной системы. Вот идет формирование протопланетного диска, и вещество проходит через своего рода магнитный сепаратор. Ионизированные частицы (с низкими потенциалами ионизации) захватываются магнитным полем и остаются в околосолнечном (околопротосолнечном) пространстве, в зоне формирования Земли (рис. 4) и планет земного типа, тогда как элементы с высокими потенциалами ионизации проходят без задержки и оказываются в более удаленной от Солнца зоне. Поэтому относительное содержание, например, уг-

**Магнитная сепарация заряженных (ионизированных) частиц в магнитном поле Протосолнца: точками показаны ионизированные атомы, кружками – нейтральные**



лерода на Земле в тысячи раз меньше, чем на Солнце, его атомы, будучи преимущественно нейтральными, проскочили мимо зоны Земли. Пояс астероидов отстоит от Солнца в три раза дальше зоны формирования Земли. И сразу становится понятным, почему в метеоритах много (по земным меркам) того же углерода, а также серы, золота, платиноидов, ртути – у этих элементов высокие потенциалы ионизации, и они слабо задерживались магнитным сепаратором (рис. 5). Вместе с тем в метеоритах мало цезия, урана, калия, рубидия, которые легко ионизируются. Эти последние, в своей основной массе, не смогли пролететь сквозь магнитный сепаратор и

были остановлены в зоне планет земного типа. Наконец, Земля и Луна находятся на одном расстоянии от Солнца, и магнитный сепаратор сработал для них одинаковым образом (рис. 6). Далее будем выяснять, каким образом от этого может улучшиться наша жизнь на планете.

**Состав Земли – новый взгляд**

Теперь мы подошли к самому главному. Оказывается, мы можем определить исходный состав нашей планеты. И здесь нам помогут два обстоятельства. Во-пер-



**ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИРОДА**

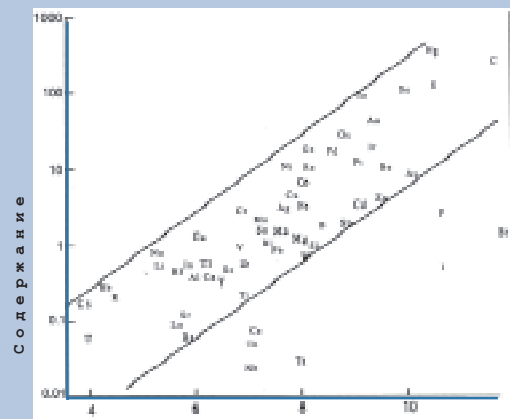
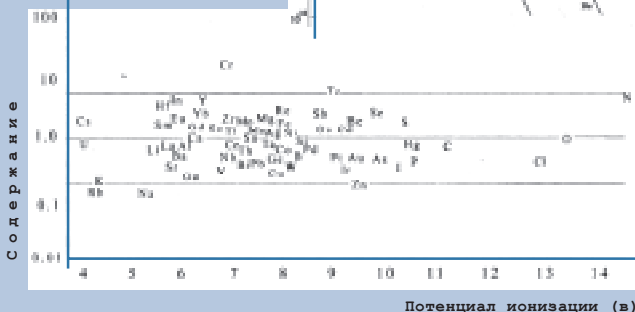
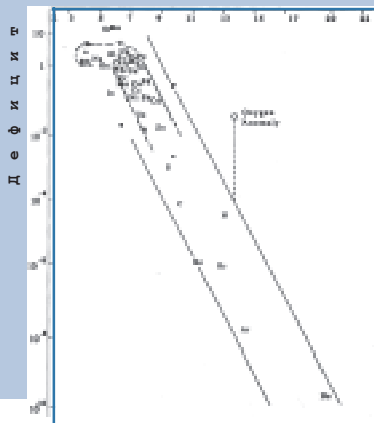
вых, состав Солнца за всю его историю существования в виде звезды сравнительно мало изменился: уменьшилось содержание водорода, добавилось гелия, частично выгорели в термоядерном синтезе литий и бериллий. Баланс остальных элементов остался практически неизменным. Следовательно, по составу современного Солнца можно судить о составе протовещества, некогда сброшенного с Протосолнца при формировании протопланетного диска. Во-вторых, нам крупно повезло в том, что внешняя геосфера Земли, состав которой мы приняли к рассмотрению, сохранила различимый отпечаток исходного состава планеты, в противном случае мы не смогли бы обнаружить закономерность, которая, однако, есть (рис. 4). По этому отпечатку мы можем провести (и достаточно определенно) тренд изначального положения элементов на графике, которое у них было бы до того, как включились земные геологические процессы, и элементы начали «погуливать» согласно своим геохимическим наклонностям.

Итак, мы знаем: 1) состав того вещества, которое проходило через магнитный сепаратор; 2) знаем тренд, который

Потенциал ионизации (в)

4

**Распространенность элементов на Земле в зависимости от их потенциалов ионизации. «Дефицит» по оси ординат – это отношение содержания элемента на Земле к его концентрации на Солнце**



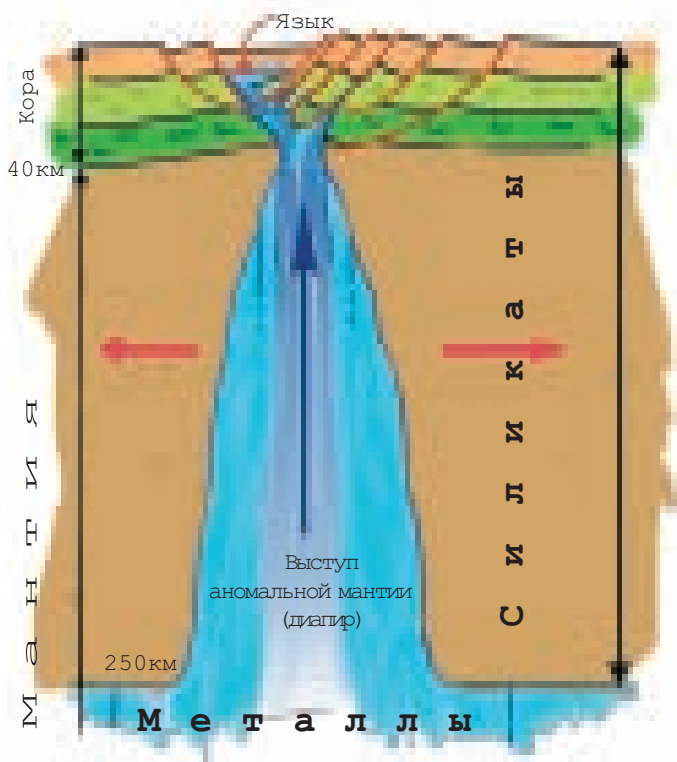
Потенциал ионизации (в)

5

**Зависимость содержания элементов в поясе астероидов от их склонности к ионизации. Концентрации элементов в метеоритах нормированы по их концентрациям на Земле**

6

**Распространенность элементов на Луне относительно Земли**



8

«Зри в корень» — говаривал Козьма Прутков.  
По новой модели корни выступов аномальной мантии (рис. 1) уходят ниже силикатно-оксидной оболочки в бескислородную зону металлов

Таблица

Исходный состав протопланетного вещества в зоне формирования Земли

Элемент	Атомн. %	Вес. %
Кремний	19,5	45
Магний	15,5	31
Железо	2,5	12
Кальций	0,9	3
Алюминий	1,0	2
Натрий	0,7	1,5
<b>Кислород</b>	<b>0,6</b>	<b>1,0</b>
Углерод	0,03-0,3	0,03-0,3
Сера	0,01-0,1	0,03-0,3
Азот	Менее 0,01	Менее 0,01
<b>Водород</b>	<b>59</b>	<b>4,5</b>

определял, в какой мере тот или иной элемент задерживался магнитным полем. Нам остается лишь взять ручку и выписать тот изначальный состав, из которого формировалась планета Земля, что мы и делаем (см. таблицу).

Несмотря на «приближенно количественный» характер этих данных, они однозначно свидетельствуют против «главной догмы» в науках о Земле. Для планеты с железным ядром и силикатно-оксидной оболочкой требуется 30% (вес.) кислорода и 40% железа. Однако магнитная сепарация отмерила возможную концентрацию кислорода в массе Земли в пределах лишь одного-двух процентов, а железа — около 12% (такая концентрация железа обычно наблюдается в глубинных мантийных породах).

Однако не следует забывать, что протовещество, стекавшее некогда с Протосолнца, это, прежде всего, водород. Его нет на рис. 4, поскольку нет данных для Земли. Однако теперь мы знаем положение тренда, которое определено магнитной сепарацией. Это дает нам возможность определить, что исходная концентрация водорода в зоне формирования Земли была около 60% (в атомных количествах, см. таблицу). Вполне достаточно, чтобы при образовании планеты все остальные элементы оказались в виде водородных соединений (гидридов).

Таким образом, изначальный состав Земли был представлен гидридами, и при этом весовая доля водорода в общей массе планеты составляла всего лишь несколько процентов. Следует отметить, что данный вывод основан не на

какой-то умозрительной исходной посылке, а на эмпирически установленной зависимости распределения элементов в Солнечной системе от их потенциалов ионизации.

От исходного состава планеты оказалось не так уж трудно перейти к модели современной Земли (рис. 7). Разумеется, для этого пришлось собрать массу данных по поведению гидридов в условиях различных температур и давлений, а там, где необходимые сведения отсутствовали, пришлось поставить целенаправленные эксперименты, которые помогли выявить неизвестные ранее физические явления.

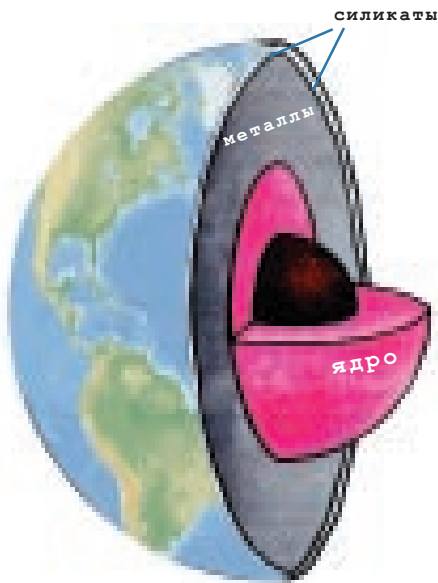
Согласно этой модели, силикатно-оксидная оболочка планеты прослеживается всего лишь до глубины 250–300 км, и это под континентами; под океанами она существенно тоньше. Ниже, вплоть до ядра, мантия сложена бескислородными соединениями и сплавами, состоящими в основном из кремния, магния и железа (с добавками Ca, Al, Na и др.). Кислород из этой зоны вытеснен во внешнюю силикатно-оксидную оболочку. В ядре сохранился исходный состав планеты (см. таблицу), и если в самом центре Земли до сих пор есть гидриды, то во внешней зоне ядра водород присутствует в виде раствора.

Исследования показали хорошее согласие новой геохимической модели с современными данными по физике ядра и мантии, которые получены различными геофизическими методами. И порой наша интерпретация причин того или иного явления оказывается весьма неожиданной. Так, например, жидкое со-

стояние внешнего ядра традиционно принято считать следствием высоких температур в центре планеты (но почему тогда внутреннее ядро твердое?). По нашей модели, жидкое состояние внешней зоны ядра обусловлено присутствием в металлах водорода в растворенном виде. Это явление мы обнаружили в эксперименте. Металлы, содержащие растворенный водород, при увеличении давления сначала становятся пластичными, как пластилин, а затем начинают течь, как будто они расплавлены. И все это при комнатной температуре. Или еще пример. Геофизики установили три скачка в плотности в мантии на глубинах 400, 670 и 1050 км. По нашей модели, в этой зоне преобладающей (по объему) фазой должен быть кремний. И мы даже не удивились, когда у кремния были обнаружены именно три скачка в плотности (три полиморфных перехода) при соответствующих этим глубинам давлениях.

### Так где же «месторождения» водорода?

Сегодня на Земле самый грандиозный геологический процесс — это рифтогенез. Общая протяженность зон рифтогенеза превышает 70 тысяч километров. В основном рифты локализованы в осевых частях океанов, но во многих местах выходят и на континенты. В этих зонах земная кора и подкорковые горизонты испытывают растяжение (раздвиг). Следовательно, в этих зонах силикатная



7  
Новая  
геохимическая  
модель Земли



ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИРОДА

оболочка должна утончаться, а глубинные бескислородные железо-магний-кремниевые соединения и сплавы должны подниматься к поверхности планеты в виде гигантских выступов (рис. 8). Судя по геофизическим данным, в осевых частях океана (там, где расположены рифты) эти выступы обнаружены в 1,5–2 км от поверхности дна, а на континентах в зонах рифтогенеза они располагаются на глубине примерно 30–35 км. Однако иногда языки, отходящие от этих выступов, достигают уровня 5–6 км (снова рис. 1). В России такой учас-

ток обнаружен в Байкальской области рифтогенеза в пределах Тункинской впадины. А дальше мы уже знаем – надо бурить! Возможно, нас ждет открытие принципиально нового, экологически чистого источника энергии, неисчерпаемого в масштабах человеческих потребностей.

Помимо Тункинской впадины на планете много мест, где, по всей вероятности, можно будет организовать добычу «горячего водорода». Это и рейнский грабен в Европе, и рифтовая зона реки Иордан – Мертвого моря по границе Израиля и Иордании, и западные территории США и Канады, и рифтовые системы Восточной Африки, и др.

До сих пор для удовлетворения энергетического голода мы насиловали природу. Планета по своей инициативе никогда не сжигала в громадных количествах уголь, нефть и газ, никогда не собирала уран до кучи, чтобы запалить атомный реактор. Биосфера планеты эволюционировала без всего этого и поэтому оказалась беззащитной от воздействия человеческого фактора. И совсем другое дело с получением «горячего водорода». Аналогичный процесс реализуется в природе в гигантских масштабах на протяжении по крайней мере десятков миллионов лет. Рифтовые зоны океанов газят водородом. В Исландии в рифтовой долине струи водорода местами вырываются со свистом. Демонстрацией этих явлений планета как бы подсказывает нам – «делай как я». Так давайте последуем этому совету!

Статья подготовлена по материалам, предоставленным доктором геолого-минералогических наук **В. Н. Лариным** (dr-larin@mtu-net.ru)

Эта сноска предназначена для узкого круга специалистов, выказывающих прохладное отношение к идее Хойла по той причине, что у молодых звезд нет внешнего магнитного поля, которое далеко простиралось бы от звезды. Но при чем здесь мощные дипольные магнитные поля у звезд, мы ведь говорим о небулярной стадии? Давайте разберемся. Расчеты показывают, что вторую половину всей своей массы небула получила за весьма короткий промежуток времени на завершающем этапе сбора рассеянной материи силами гравитации. Поэтому именно на данном этапе небула испытала резкий разогрев. Согласно  $DQ = P'DV$ , выделение тепла ( $DQ$ ) должно было происходить во внутренней зоне небулы, где максимальны давление ( $P$ ) и уплотнение ( $DV$ ). Тепло из внутренних зон должно было выноситься наружу конвективными струями. Вместе с тем на этом же коротком завершающем этапе с половиной массы пришло  $2/3$  момента количества движения ( $2/3$  от суммарного значения), и небула раскрутилась. Соответственно резко выросли силы Кориолиса, и радиально направленные конвективные струи стали закручиваться в спирали. Теперь вспомним, что исходное вещество было частично ионизировано и поэтому собиралось в небулу вместе с магнитными силовыми линиями галактического поля. Таким образом, на этом этапе в небуле формировались многочисленные плазменные струи, которые при движении наружу закручивались в спирали и при этом перемещались в среде магнитных силовых линий, унаследованных от галактического поля. Естественно, что в этих спиральных витках должны были индуцироваться электрические токи. В результате небула как бы превращалась в гигантский соленоид с мощным внешним магнитным полем. Это магнитное поле и выполняло (по Хойлу) роль шпелки в системе, выдерживая одинаковую угловую скорость во всех частях небулы. При этом угловой момент перераспределяется согласно выражению  $m\omega R^2$  (пропорционально радиусу в квадрате) в наиболее удаленную от центра краевую зону, которая сбрасывалась в виде протопланетного диска. С протопланетным диском уходил практически весь «момент», и небула резко замедляла скорость своего вращения, силы Кориолиса сходили на нет, исчезала спиральная составляющая в движении конвективных струй (соленоид распадался) и генерация дипольного магнитного поля прекращалась. Таким образом, собственное магнитное поле у небулы включалось лишь на краткое время и лишь для того, чтобы сбросить протопланетный диск. Ни до, ни после этапа формирования протопланетного диска у небулы не было дипольного магнитного поля, и быть не могло. (О, Силы Небесные! До чего же ловко Вы спроектировали это!)

Теперь относительно источника энергии. В нашем понимании первопричиной явления собственного магнитного поля явилось гравитационное стягивание материи в небулу, поскольку именно этот процесс обусловил разогрев внутренних зон и тем самым обеспечил энергичную тепловую конвекцию, которая в свою очередь... (и т. д. по сценарию, прописанному выше). Отсюда следует вывод – энергия, необходимая для создания собственного магнитного поля небулы, черпалась из энергии гравитационного коллапса туманности, и, соответственно, **собственное магнитное поле небулы могло быть исключительно мощным.**

