

Лекция 20. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИ ГОРЯЧЕЙ ЗЕМЛИ, ГЕОНОМИЯ

В 20-ой лекции обсуждаются геохимические аспекты в модели горячей Земли. В заключение курса лекций - несколько слов о геономии.

Химический состав планеты.

Земля, по нашей модели, как и другие планеты, и их спутники, образовалась одновременно с Солнцем из одного с ним вещества. Различия в средних плотностях планет определяются наличием и размером высокоплотного ядра и концентрацией водорода в оболочках планет и спутников. Развивая модель горячей Земли, в дальнейшем будем полагать, что химический состав планет, спутников и Солнца - одинаков. Выясним, как эта идея может сказаться на решении таких принципиальных в геологии и геофизике вопросов: почему скорость сейсмических волн плавно возрастает с увеличением глубины; почему образовались месторождения полезных ископаемых; почему на Земле и Венере есть и граниты, и базальты, а на Луне - гранитов нет и т.д.

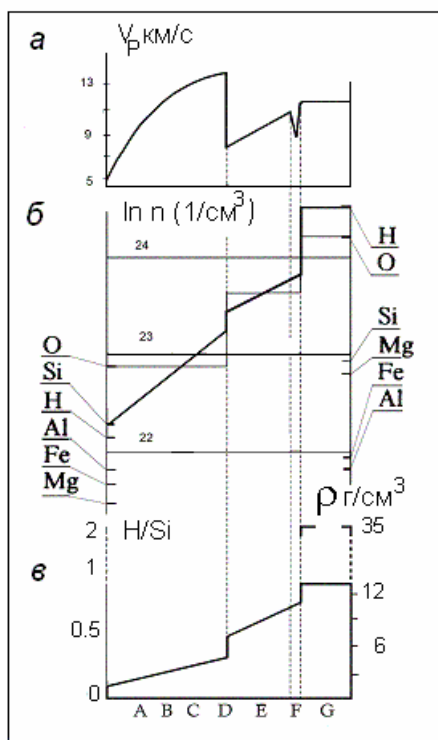


Рис. 1. Распределение скорости Р-волн и величины плотности по глубине Земли – а; изменение концентрации химических элементов по глубине Земли – б; параметр H/Si – в.

Рисунок 1 демонстрирует высказанную идею. Как следует из нашей модели, в центре Земли химический состав вещества идентичен солнечному. Относительное количество водорода на Земле значительно меньше, чем на Солнце (примерно в 1000 – 10 000 раз). Относительная концентрация остальных элементов во внутреннем ядре соответствует солнечной. Химический состав земной коры хорошо известен. Таким образом, можно подобрать концентрацию химических элементов (в lg штук в см³) так, чтобы изменение химического состава земных оболочек происходило только на фазовых границах (см. рис. 1-б). Концентрация водорода, в отличие от всех других элементов, уменьшается с увеличением радиуса. Очевидно, что такой характер изменения концентрации элементов предполагает особую роль водорода в строении вещества Земли.

Теория флуктуаций и концентрация элементов в земной коре.

Как известно, «... любое месторождение полезных ископаемых представляет собой исключительное природное явление, и задача геолога сводится к определению геологических и физико-химических условий, приведших к локальной концентрации минерального сырья на фоне его регионального рассеяния» (Смирнов, 1969, стр. 10). Содержание ценных компонентов в рудных месторождениях всегда больше среднего содержания их в горных породах земной коры (их кларка). Например, для свинца оно выше кларка в 600 раз ($A = 600$), для молибдена и урана в 200-250 раз, для меди и золота в 100 раз, для никеля, ванадия и цинка в 50 раз, для олова в 25 раз, для железа в 8-10 раз ($A = 10$) и т.д. Следовательно, месторождения полезных ископаемых представляют собой местное повышение концентрации тех или иных элементов и их природных химических соединений, на общем фоне их рассеяния в земной коре. Заметим, что общий объем полезных элементов собранных в месторождениях ничтожен по сравнению с их массами, содержащимися в земной коре.

Месторождения полезных ископаемых и их повышенная концентрация приурочены к разломам в земной коре. Более масштабный подход к этим явлениям, выявляет некоторую общность, состоящую в том, что эти разрозненные группы проявлений повышенной концентрации полезных элементов объединяются в обширные пространственные структуры. Размеры таких структур (иногда называемых «поясами») соизмеримы с земным радиусом. По всей вероятности, появление таких глобальных «поясов», это общеземное, а не какое-либо локальное, местное явление.

Создавая физически непротиворечивую модель процессов, происходивших на Земле в течение времени ее существования от момента зарождения до наших дней, необходимо учитывать следующее:

- размеры исследуемого явления говорят о его общепланетарном происхождении;
- флуктуации концентрации полезных элементов и их соединений значительно (в десятки и сотни раз) превышают их исходную концентрацию в веществе земной коры.

Добавим к этому некоторые соображения, касающиеся исходного состояния вещества планеты. Как известно, в модели «холодной» Земли ее кора представляет собой слипшиеся частицы протопланетного вещества. В этом случае, флуктуации концентрации и образование протяженных поясов могут быть вызваны, по-видимому, только тем, что они получились такими в результате действия каких-то локальных механизмов аккреции. Такой подход к проблеме в принципе возможен, однако он, на наш взгляд, не поддается исследованию и анализу, и, с точки зрения физики, - просто не интересен. Эта задача выглядит значительно более перспективной в том случае, когда Земля находилась на начальном этапе своей эволюции в газообразном состоянии. Поясним, что лишь в этом случае оказывается возможным протекание процессов, общих для всей Земли и приводящих к локальному изменению концентрации тех или иных химических элементов и их соединений. В физике подобные процессы рассматриваются с позиций хорошо развитой теории флуктуаций. Будем следовать теории флуктуаций, изложенной в книге М.А. Леонтовича (1983).

Модель. Рассмотрим вещество, которое может представлять собой идеальный газ или раствор, содержащий молекулы или взвешенные коллоидные частицы, занимающее объем V и содержащее N частиц. Выделим внутри него некоторый объем V_0 . Найдём средний квадрат отклонения числа частиц n находящихся в объеме V_0 от его среднего значения \bar{n} и вероятность того, что число частиц в этом объеме равно n .

Вероятность того, что некоторая частица находится внутри объема V_0 , равна $p = V_0/V$. Среднее число частиц в объеме V_0 равно $\bar{n} = Np$. Среднее квадратичное отклонение, согласно Леонтовичу:

$$(n - \bar{n})^2 = \bar{n} (1 - p). \quad (1)$$

Если вероятность $p = V_o/V$ очень мала и ею можно пренебречь по сравнению с единицей (если объем V_o очень мал по сравнению с V), то формула обращается в:

$$(\bar{n} - \bar{n}')^2 = \bar{n}'. \quad (2)$$

Эта формула играет основную роль в теории явлений, связанных с флуктуациями.

Квадрат относительного отклонения числа частиц от среднего:

$$K^2 = (n - \bar{n}')^2 / (\bar{n}')^2 = 1/n = 1/N_1 V_o, \quad (3)$$

где N_1 – среднее число частиц в единице объема (концентрация частиц).

Данные. Согласно теории флуктуаций, относительные отклонения концентрации уменьшаются с увеличением объема V_n и концентрации частиц N . Положим, что V_n это объем земной коры, $V_n = \text{const}$, тогда зависимость $K^2 \sim 1/N$ показывает, что в системе имеют (или имели раньше) место флуктуации. Выше мы отмечали, что концентрация полезных элементов в породах рудных месторождений тем выше, чем ниже его кларковое содержание. Рисунок 2 показывает отношение концентрации некоторых химических элементов N солнечного вещества к относительной концентрации их K в земной коре (в log-log координатах). Видно, что для некоторых элементов, таких как, например, Pb, Mo, Cu, Ni, можно записать: $K^2 \sim N^{-D}$, где $D < 1$ ($D \approx 2/5$). Железо и олово не попадают в эту зависимость, однако, если учесть, что мы использовали данные по N солнечного вещества, а в земных гранитах относительная концентрация железа примерно в 3-4 раза меньше, чем на Солнце, хондритах и базальтах, то и железо «оказывается на этой прямой». Вероятно, можно найти причину, по которой и Sn окажется в общей зависимости с другими элементами. Эти факты служат иллюстрацией того, что распределение полезных элементов в земной коре имеет флуктуационный характер.

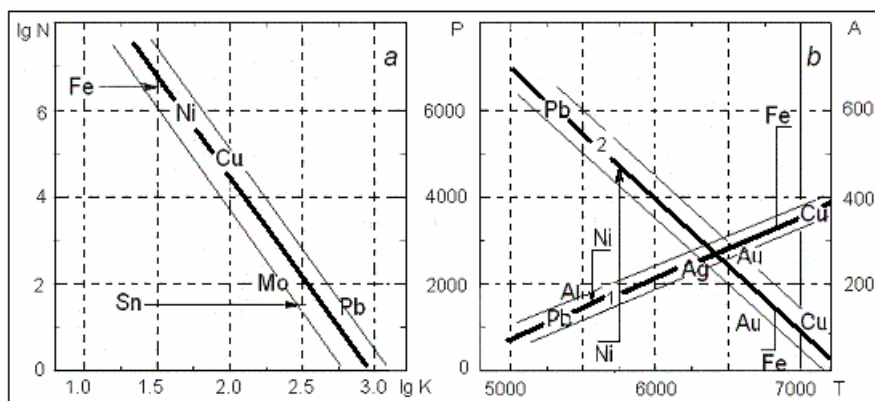


Рис. 2. Связь концентрации химических элементов в земной коре K с концентрацией N их на Солнце (Смирнов, 1969) – *a*. Критические параметры элементов $T_{кр}$ и $P_{кр}$ (1) и A (2) для тех же элементов – *b*.

Обсуждение. Естественно поставить вопрос, от чего зависят флуктуации данного параметра, можно ли говорить о свойствах системы, зная флуктуацию ее параметров? Ответ на эти вопросы был дан в работах Смолуховского и Эйнштейна, которые предложили использовать так называемый принцип Больцмана, связывающий отношение вероятностей двух каких-нибудь неравновесных состояний изотермической системы с разностью их свободных энергий (или энтропий – для энергетически замкнутой системы).

Как известно, средний квадрат флуктуации объема выделенной массы сжатого (не идеального) газа или жидкости определяется выражением (Леонтович, 1983, стр.271):

$$V^2 = (V - \bar{V}')^2 = kT V_o / (-v_o \times \partial p / \partial v). \quad (4)$$

Средний квадрат флуктуации концентрации, так же как флуктуации объема, пропорционален изотермической сжимаемости $-1/v_o \partial v / \partial p$:

$$(\Delta \bar{n}')^2 = (n^2/v) \times kT / (-\partial p / \partial v). \quad (5)$$

Эта формула показывает, что средний квадрат флуктуации концентрации зависит как от начальной концентрации, так и от изотермической сжимаемости и температуры. Она позволяет оценить термодинамические характеристики системы, если известны её параметры флуктуации. Так как в интересующем нас случае: $K^2 = (\Delta \bar{n}')^2 / n^2 \gg 1$, а сжимаемость большинства физических тел (в том числе и расплавов горных пород) известна (по крайней мере, по порядку величин), то возникает возможность оценить температуру, при которой, в заданном объеме вещества, могут возникнуть такие большие флуктуации плотности. Оказывается, что для их возникновения «разумной» величины температуры, например температуры плавления металла, явно недостаточно.

Известно, что флуктуации объема, плотности и концентрации становятся очень большими при приближении к критической точке данного вещества (или его компонента), так как при этом $\partial p / \partial v$ стремится к нулю. Это явление носит название фазового перехода второго рода (ФП-2) «критическая точка равновесия жидкость-пар» (Паташинский, Покровский, 1982). В частности, наличие в системе ФП-2 объясняет очень сильное рассеяние света веществом, находящимся в состоянии, близком к критическому. Это, так называемая, «критическая опалесценция». Для нашей модели это означает, что если образование месторождений имеет флуктуационный характер, то они могли бы возникнуть только при температуре вещества земной коры, приближающейся к критической. По порядку величины, это тысячи градусов, например, критические температуры $T_{кр}$ и давления $P_{кр}$ (бар) для некоторых элементов: Pb = 5395 К, 1065 бар; Al = 5445 К, 1920 бар; Cu = 7010 К, 3545 бар и т.д. (рис. 2-б) (Кузнецов, 1985; Басин, 2002). В этих работах приведены критические давления, объемы и энтропии ряда химических элементов. Можно считать, что $T_{кр}$ интересующих нас химических элементов, по порядку величины, около 10 000 К.

Модель образования месторождений металлов при охлаждении горячей Земли за счет гигантских флуктуаций плотности при достижении критических температур.

Природа создала на Земле такие уникальные явления, как месторождения полезных ископаемых, в частности, – металлов. Как относится к природе этих явлений физика Земли? Встанем на позиции модели холодной Земли. Планета образуется путем медленного постепенного «слипания» мельчайших частиц космической пыли. В этой постановке нет возможности найти причину, почему в некоторых регионах Земли скопилось такое большое количество вещества одного химического состава, и среди него практически нет других веществ, которые образовались и накопились в другом? Этот вопрос как-то выпал из области интересов геологов, хотя и они считают, что "... любое месторождение полезных ископаемых представляет собой исключительное природное явление, и задача геолога сводится к определению геологических и физико-химических условий, приведших к локальной концентрации минерального сырья на фоне его регионального рассеяния"

Известно, что флуктуации объема, плотности и концентрации становятся очень большими при приближении к критической точке данного вещества. Это явление носит название фазового перехода второго рода (ФП-2) «критическая точка равновесия жидкость-пар». В частности, наличие в системе ФП-2 объясняет очень сильное рассеяние света веществом, находящимся в состоянии, близком к критическому. Это, так называемая, "критическая опалесценция". Для нашей модели это означает, что если образование месторождений имеет флуктуационный характер, то они могли бы возникнуть только при температуре вещества земной коры, приближающейся к критической. По порядку величины, это тысячи градусов, например, критические температуры $T_{кр}$ и давления $P_{кр}$ (бар) для некоторых элементов: Pb = 5395 К, 1065 бар; Al = 5445 К, 1920 бар; Cu = 7010 К, 3545 бар и т.д.

Связь между флуктуациями в объеме жидкости при критической температуре обуславливается силами межмолекулярного взаимодействия, однако, она может действовать на расстояниях, значительно превышающих радиус взаимодействия. Это может происходить потому, что сжимаемость вещества вблизи критической точки очень велика и уже малые силы могут вызывать значительные изменения, как плотности вещества, так и концентрации входящих в него элементов.

Ниже представлены три группы рудных элементов, которые встречаются внутри групп.

Первая группа: рудные элементы месторождения – Au, Ag, Zn, Cu, Pb, Cd, Sb, Bi, As.

Вторая группа: Ba, Sn, Mo. Третья группа: Co, Ni, Mn, V,

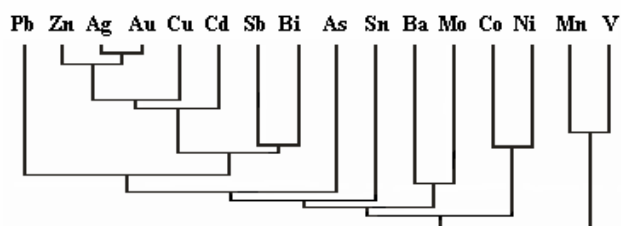


Рис. 3. Группы химических элементов-«соседей» по месторождениям.

Таблица 1.

Ag	Al	Au	Cu	Ni	Pb	Pd	Fe	Sm	Sr	Li	Na	K
6300	5445	6625	7010	5640	5395	5820	6686	5036	5034	3210	2480	2230

При остывании протоземли, представляющей собой нагретый до температуры 30 000 К газовый шар, температура вещества верхнего слоя, охлаждаемого излучением, последовательно проходит критические температуры металлов. При достижении критической температуры вещество резко изменяет свои термодинамические свойства, в частности, резко падает величина поверхностного натяжения и за счет термофлуктуаций вещество, находящееся при критической температуре, способно собираться в огромные образования – прообразы будущих месторождений. Если у химических элементов критические температуры близки по величине, то эти образования могут включать эти элементы (схема и таблица 1).

Проблема гранитов и базальтов.

Постановка задачи. Известные всем граниты по-своему уникальны и даже загадочны. Граниты обнаружены только на Земле и, возможно, на Венере. Если земные базальты ничем не отличаются от базальтов лунных, то граниты, в этом смысле, “неповторимы”. (Мы используем обобщенные понятия “гранитов” и “базальтов”, имея в виду не столько их минералогические различия, сколько различия в их химическом составе). Информация об обнаружении “гранитов” на Венере следует из результатов анализа грунта, полученных автоматической станцией “Венера-8”, аппаратура которой зарегистрировала повышенное содержание калия, урана и тория, характерное для гранитов. Остальные аналогичные станции “Венера” также определяли наличие этих элементов, но уже в концентрациях, более близких к базальтам (Ксанфомалити, 1985).

Сходство и различия тектономагматического развития Земли и Луны изучали Шарков и Богатилов (1999). Они показали, что главная особенность Луны, это её близость к палеопротерозойской (кратонной) стадии развития Земли. На Луне полностью отсутствуют гранитоиды. Древнейший (4.45-4.25 млрд. лет) магматизм материков Луны близок к земной палеопротерозойской стадии. Вторая стадия развития Луны 3.8-3.2 млрд. лет тому назад, характеризуется генерацией морских базальтов, аналогичных базальтам срединно-океанических хребтов Земли. Различия в эволюции Земли и Луны авторы связывают с «различными энергетическими возможностями этих планетных тел» (стр.

415). По этому поводу американский геолог астронавт Р. Шмитт заметил: «Луна - это запыленное окно в прошлое Земли».

Граниты встречаются исключительно на континентах. Обнаруженные в Тихом океане небольшие “островки” гранитов были, по всей видимости, оторваны от материков и “транспортированы” при спрединге и разрастании океанов. Уникально соотношение химических элементов в “граните”. Если в “базальте” процентный состав породообразующих элементов повторяет состав хондритов и состав тяжелых элементов в атмосфере Солнца, то “граниты” заметно обеднены тяжелыми элементами: железом и магнием. С другой стороны, в “гранитах” значительно больше радиоактивных элементов: урана, тория и калия.

Проблема “базальт-гранит” давно, и не без основания, занимает геологов. Принято считать, что образование гранитов связано с направленным метаморфизмом, в результате действия которого произошло вымывание “лишних” и привнесение “дополнительных” химических элементов. В результате из первоначальной “базальтовой” оболочки получилась “гранитная” кора. Заметная роль в этом процессе отводится воде, магматическим процессам и “продувке” коры флюидами. Возможно, эта модель верна, но как могли образоваться “граниты” на Венере, где воды не было, или почему их нет на Луне, где магматические процессы “налицо”? Почему в настоящее время, когда на Земле полно и базальтов, и воды, не находят следов современной “гранитизации”? Вопросов можно задать еще очень много. Действительно, на каждый из них имеется ответ. Все ответы базируются на модели холодной Земли, однако, связать ответы в какую-либо правдоподобную концепцию не удастся. Тем не менее, не будем критиковать эту модель. Наша задача состоит в том, чтобы найти ответы, естественным образом следующие из модели горячей Земли. Можно ли получить “гранитизацию” первичного вещества базальтового состава на раннем этапе эволюции Земли? Попробуем ответить на этот вопрос.

Гипотеза “гранитизации”. Воспользуемся известными данными по составу базальтов и гранитов. В Таблице 2 приведены относительные концентрации атомов в составе Солнца. За единицу принята концентрация водорода $N = 10^{12}$ частиц. В таблице 3 приведены осредненные данные по химическому составу гранитов и базальтов. В таблице 4 - тоже для элементного состава.

Таблица 2

	H	He	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe
lg N	12.0	11.7	8.72	8.96	6.3	7.4	6.2	7.5	7.3	4.7	6.1	6.6

Таблица 3

	Si O ₂	Ti O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe O	Mn O	Mg O	Ca O	Na ₂ O	K ₂ O
Базальт	48.0 %	3.0	12.0	2.0	8.0	0.1	14.0	10.0	2.0	0.3
Гранит	73.0 %	0.5	13.0	1.3	1.6	0.04	0.6	2.2	3.6	3.7

Таблица 4

	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
Базальт	18 %	6.1	8.0	16	3.5	1.5	0.25
Гранит	33 %	8.6	2.5	0.5	1.2	2.5	3.55

На рис. 4 схематически изображена диаграмма, показывающая каким образом, взяв две части вещества с химическим составом, эквивалентным базальту, и “отняв” от этого вещества некоторую часть элементов определенной концентрации, можно получить другое вещество, по составу эквивалентное “граниту”. (Химические составы “базальта” и “гранита” нормированы таким образом, чтобы количество кремния было одинаковым в

обоих составах). Если в процессе образования гранитной коры в нашей модели можно найти непротиворечивые механизмы, позволяющие обеспечить “потерю” этих элементов, проблема преобразования базальта в гранит (т.е. гранитизация базальта) может оказаться близкой к решению. Естественно, эта задача решается в контексте модели горячей Земли на той её стадии, когда все вещество планеты, включая ее самые верхние слои, было очень горячим. Эта система была открытой для того, чтобы химические элементы и их соединения, обладающие наибольшей летучестью, были способны покинуть Землю, т.е. диссипировать. Как следует из модели образования планет, только Земля и Венера были, с одной стороны, достаточно “разогреты” для осуществления этого процесса, а, с другой, они были слишком малы (по сравнению с “большими” планетами) для того, чтобы удержать своим гравитационным полем летучие элементы и их соединения. На таких планетах как Марс и Меркурий их вещество на поверхности планет никогда не нагревалось до температуры выше температуры плавления. Поэтому рассматриваемых явлений там происходить не могло. Следовательно, на этих планетах не может быть (по нашей модели) и гранитов.

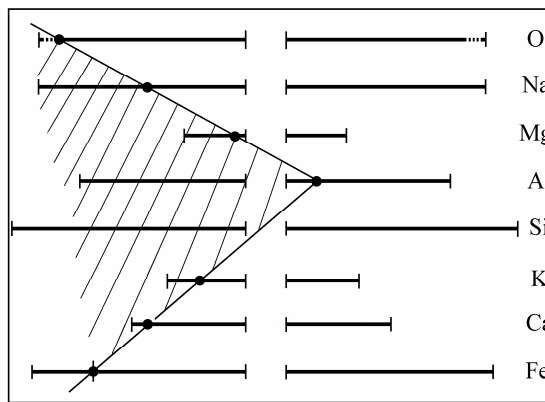


Рис. 4. Диаграмма гранитизации: получение гранита (заштрихованная часть) из двух исходных частей базальта.

До тех пор, пока вещество, из которого впоследствии образовалась земная кора, находилось в газообразном состоянии (“вскоре” после образования планеты) мы можем применительно к нему пользоваться формулами кинетической теории газов. Скорость диссипации определяется формулой Джинса:

$$v = n \left(\frac{c^2}{6\pi} \right) \times \exp(-3gR/c^2) \times (1 + 3gR/c^2), \quad (6)$$

где v - число частиц, покидающих площадь в 1 см^2 в секунду; n - концентрация частиц (см^{-3}); g - ускорение силы тяжести; R текущее значение земного радиуса, c - средняя квадратичная скорость частиц:

$$c^2 = 3kT/m. \quad (7)$$

Здесь: k - постоянная Больцмана, T - температура, m - масса частицы. Так как $m = \mu m_0$, где m_0 - масса протона, то водород покинет Землю раньше остальных газов. Естественно, нам точно не известны величины g , R и T во время процесса гравитационной конденсации, поэтому наши оценки носят качественный характер. По мере того, как Земля “теряла” водород в момент своего формирования в планету, диссипировали и другие элементы: кислород, азот, кремний, магний и др., так как все они, по модели горячей Земли, находились в этот момент в газообразном состоянии.

В момент остановки процесса формирования планеты, т.е. окончания гравитационной конденсации (гравитационного коллапса, самогравитации), начался период её охлаждения, сначала поверхности планеты, а потом и её внутренних оболочек. Охлаждение поверхности планеты возможно только за счет передачи тепла через излучение. При т.н. радиационном охлаждении, происходит диффузия излучения через

“оптически толстое тело”, т.е. через плотную атмосферу, окружавшую Землю на самой ранней стадии её формирования.

Раннюю стадию такого процесса мы рассмотрели в третьей главе. Температура T_1 отличалась от начальной T_0 как:

$$T_1 = T_0 (1 - \alpha_0 T_0^3), \quad (8)$$

где α_0 - как и раньше, функция, зависящая от толщины слоя, через который идет диффузия излучения, времени охлаждения t , химического состава атмосферы, её плотности и т.д.

Оцененная нами ранее величина α_0 для интервала температур $T_0 = 10^3$ К и ниже и периода охлаждения $t_0 = 10^9$ лет была порядка $\alpha_0 = 10^{-9}$ К⁻³.

В интересующем нас сейчас случае: $T_0 = 10^4$ К, а $T_1 = 10^3$ К, коэффициент α_1 оказывается равным примерно 10^{-12} К⁻³. Если считать, что и давление и химический состав атмосферы те же, что и в рассмотренном нами ранее случае (что, по-видимому, не совсем так), то время охлаждения t_1 можно оценить из пропорции: $\alpha_0/\alpha_1 = t_0/t_1$. Величина t_1 оказывается порядка 10^6 лет. По всей видимости, эта величина может быть определена нами с точностью до порядка величины:

$$10^5 < t_1 < 10^7 \text{ лет.}$$

Зная эту величину, а так же зная величину температуропроводности вещества, можно оценить толщину обменного слоя, т.е. слоя, в котором происходят процессы охлаждения, массопереноса, где возможны процессы разделения химического состава вещества Земли. Положим величину коэффициента температуропроводности ζ порядка $1 \text{ см}^2/\text{с}$, толщина обменного слоя $\delta \approx (\zeta t_1)^{1/2} = 60$ км. Оценим величину δ иначе, воспользовавшись известной барометрической формулой, осознавая, что она справедлива только для современной атмосферы. Тем не менее, упрощая барометрическую формулу, получим:

$$\delta \approx 2 \times 10^4 (1 + 0.003 T) \lg(p_1/p_2). \quad (9)$$

Подставляя: $T = 10^4$ К и $\lg(p_1/p_2) \approx 5$, величина δ оказывается того же порядка (50 км).

Будем считать, что в процессе гравитационного сжатия и формирования Земли как планеты, она представляла собой шар, состоящий из горячего переуплотненного ($\rho \approx 35 \text{ г/см}^3$) вещества, окруженный достаточно плотной газовой оболочкой, толщиной примерно 50 км. Температура внешней части оболочки составляла примерно 10^3 К, внутренней - 10^4 К, плотность менялась, соответственно, от 0 до 35 г/см^3 . Эта оболочка, с одной стороны, экранировала пересжатое и переуплотненное вещество Земли от тепло- и массообмена с окружающим Землю космическим пространством и, с другой, сама являлась открытой системой, в которой происходил такой обмен. Вещество оболочки охлаждалось, конденсировалось и кристаллизовалось и, в конечном счете, по нашей модели, превратилось в гранитную кору, покрывающую все материи.

Концентрация более тяжелых элементов на внутренней границе оболочки была, естественно, выше, чем на поверхности, т.е. на её внешней границе. Это обеспечило действие механизма газовой концентрационной диффузии. Тепловой поток направлен в сторону градиента концентрации, что способствовало возможности проявления механизма термодиффузии, когда тяжелые и большие по размерам атомы (молекулы) “выносились” в более холодную часть, т.е. к поверхности оболочки, откуда они могли быть потеряны за счет диссипации в космос. Все перечисленные механизмы протекали на фоне тепловой конвекции, которая ещё больше усиливала их эффективность.

Концентрационная диффузия определяла перенос частиц (атомов, молекул) от границы слоя к поверхности в соответствии с начальными концентрациями и различием в тепловых скоростях, обязанным различию в атомных весах элементов. Термодиффузия обеспечивала преимущественный перенос больших по размеру и более тяжелых частиц. Оба этих, в принципе возможных, механизма протекали в водородной среде, причем термодиффузионное разделение эффективнее происходит тогда, когда концентрации легких частиц (водорода) и тяжелых (железо, кремний, магний и т.п.) становятся более или менее соизмеримы. Это означает, что термодиффузия будет значима в тот момент,

когда Земля уже потеряла значительную долю водорода, а температура её вещества - ещё превышала критическую.

В отличие от концентрационной диффузии, скорость которой определяется величиной D_{12} , термическая диффузия характеризуется коэффициентом D_T и термодиффузионным отношением $k_T = D_T/D_{12}$. В свою очередь, величина k_T зависит от концентрации частиц n и термодиффузионной постоянной β :

$$k_T = \beta n_{10} n_{20},$$

где n_1 и n_2 - относительные концентрации частиц первого сорта: $n_{10} = n_1/(n_1 + n_2)$ и второго: $n_{20} = n_2/(n_1 + n_2)$. Перенос более “тяжелых” и больших по размеру частиц в более “холодную” область оболочки определяется формулой Грю и Иббса (1956):

$$\partial n / \partial r = - k_T / T \times \partial T / \partial r. \quad (10)$$

Из этих формул следует, что для одинаковых температурных условий и одинаковой начальной концентрации “тяжелых” частиц различного веса и размера, эффект их термодиффузионного разделения определяется коэффициентом β , который индивидуален для каждого вещества (Грю и Иббс, 1956).

Будем считать частицами первого сорта атомы водорода, второго - атомы более “тяжелых” элементов. Для качественной оценки эффекта термодиффузионного разделения и упрощая формулу для параметра β , можно получить, что $\beta \sim \mu^{1/2} r$, т.е. он в большей степени зависит от размера, чем от массы частиц. Воспользуемся полученным выражением и оценим насколько различен эффект термодиффузионного разделения для порообразующих элементов. Параметр β для калия оказывается выше, чем для других элементов, однако, его так мало в исходном “солнечном” веществе, а мы оговаривались, что эффекты термодиффузионного разделения эффективны при условии примерного равенства концентраций тяжелых и легких компонент, что мы вынуждены исключить калий из рассмотрения. Это обстоятельство тем более нам на пользу, так как концентрацию калия, для того, чтобы из базальта “сделать” гранит, мы должны не уменьшать, а наоборот, увеличивать.

После калия, по величине параметра β , идут: кальций, железо, натрий, магний. Термодиффузионный эффект, как мы отмечали, сильнее проявляется тогда, когда начальная концентрация разделяемых веществ - выше. Обозначим начальную концентрацию разделяемого за счет термодиффузии элемента через n_0 , а оставшуюся после разделения, - n_1 , “потерянную”, через n_2 , тогда: $n_2 = \beta n_0$. Как отмечалось выше, нас интересует, каким образом может быть “потеряна” та “лишняя” часть вещества, без которой после естественных процессов конденсации и кристаллизации мы могли бы “получить” гранит, взяв базальт в качестве исходного вещества. Возьмем две части (в процентах) вещества базальтового состава и “отнимем” одну часть гранитового (рис. 4). При этом получим “остаток”, который Земля должна “потерять”, например, за счет диффузии и последующей диссипации.

Могли ли образоваться алмазы на поверхности Земли?

Алмаз - наиболее изученный минерал. Согласно (Харькив и др. 1997), каждый год публикуется более 1000 статей и монографий, посвященных алмазу. Не раскрывая широко эту очень интересную тему, мы попытаемся ответить на вопрос, могли ли образоваться алмазы на поверхности Земли, или они возникли на очень большой глубине и затем были вынесены на дневную поверхность. Геологи считают, что алмазы сформировались в условиях их термодинамического равновесия, хотя известны алмазы ударного (импактного) происхождения. Считается, что средний возраст алмазов 3.2-3.5 млрд. лет, в то время как возраст пород кимберлитовых трубок «всего лишь» 90 - 170 млн. лет. Имеются данные, что возраст некоторых алмазов сравним с возрастом нашей планеты (Озима, 1990). Месторождения алмазов сосредоточены в пределах древних структур Земли, консолидация которых завершилась 2.5 млрд. лет тому назад. Преобладающее большинство специалистов считают, что алмаз доставлен на поверхность Земли примерно

с глубины 140-280 км. Поэтому мантийный алмаз важен как источник информации о событиях, происходящих на ранних этапах формирования Земли, во-первых, и как источник информации о верхней мантии, во-вторых.

Как известно, для алмаза, где бы он ни был образован, - на Земле или лаборатории, необходимо создание определенных pT -условий. Давление p должно быть не менее 40 кбар, а температура T , около 1000 °С. На Земле такие условия существуют в мантии на глубине примерно 100 км, что, как принято считать, однозначно определяет место их "производства". Затем, каким-то способом алмазы "транспортируются" на поверхность Земли, где их обнаруживают в т.н. трубках взрыва - диатремах (Милашев, 1984). Такие трубки напоминают жерла вулканов, что и определило способ их транспортировки - в лаве вулкана. Всё было бы хорошо, но в этой привычной для всех схеме есть небольшой, но неприятный дефект. Дело в том, что при такой транспортировке алмазы из области pT -условий устойчивого их существования в мантии обязаны перейти в такую область, где они существовать не могут и где углерод существует только в состоянии графита (см., например, Озима, 1990; Кузнецов, 1992).

Алмазы стабильны на глубине ниже 150 км, а на более высоких горизонтах они становятся неравновесными и переходят в графит, причем, этот переход происходит очень быстро при высоких температурах внутри Земли. Следовательно, если алмазы, образовавшиеся в недрах Земли, будут вследствие мантийной конвекции перенесены на глубину менее 100 км, они разрушатся и превратятся в графит (Озима, 1990).

В pT -условиях земной поверхности алмазы устойчивы. Заметим, что буквально все алмазы на Земле образовались раньше одного миллиарда лет назад, т.е. на самой "ранней" стадии эволюции Земли. Более того, совсем недавно Соболевым и Шацким было доказано, что алмазы образовались в породах земной коры (Sobolev, Shatsky, 1990). Напомним, что согласно модели горячей расширяющейся Земли, 1 млрд. лет назад pT -условия, необходимые для образования алмаза, существовали практически на её поверхности, точнее, на самых малых глубинах земной коры. Продемонстрируем справедливость этого утверждения.

Согласно нашей модели. pT -параметры на поверхности Земли и в её коре на раннем этапе её эволюции значительно отличались от современных. Там же показано, что резкое изменение термодинамических характеристик Земли началось примерно 160-200 млн. лет назад, т.е. этот период совпадает с периодом образования трубок взрыва. Наша модель недостаточно точна для того, чтобы однозначно определить глубину земной коры, на которой величины давлений и температур соответствовали условиям, необходимым для синтеза алмазов. Так же сложно определить период времени эволюции Земли, когда эти параметры были именно такими, какие нужны для синтеза. Базируясь на нашей модели, по-видимому, можно утверждать, что на глубине порядка 5-10 км в земной коре примерно 1 млрд. лет тому назад, pT -условия вполне могли соответствовать тем, которые необходимы для синтеза алмазов. Как следует из модели горячей Земли, 160-200 млн. лет назад началось довольно резкое охлаждение её оболочек, как внутренних, так и внешних. Термодинамическое равновесие оболочек достигалось путем конвективного тепло- и массопереноса в т.н. астеносферных зонах. В тех местах Земли, где конвекции не удавалось развиваться, её вещество сохранялось в перегретом и переуплотненном виде. Переуплотнение вещества, как мы отмечали в начале главы, достигается увеличением количества водородных связей. Таким образом, Земле был необходим некий механизм, с помощью которого можно было бы освободиться от тепловой и гравитационной энергии, возникшей в некоем объеме, где ранее образовались алмазы. Как мы неоднократно отмечали, Земля располагает несколькими способами "«сброса»" энергии: землетрясения, горные удары, вулканизм, плюмы. Если ни один из этих способов по той или иной причине Земле «не подходил», следовало «изобрести» ещё один.

Вполне возможно, что образование трубок взрыва - диатрем, это как раз и есть такой способ, которым Земля «воспользовалась» на одном из этапов своей эволюции. Суть его, в рамках нашей модели, заключается в быстром, взрывном освобождении нагретого до высокой температуры водорода, за счет разрыва водородных связей и выделения теплоты порядка 10 ккал/моль. Экзотермическое выделение энергии (теплоты) связи приводит к ещё большему нагреву водорода. Может развиваться тепловой взрыв и дальнейшее истечение горячих газов. Именно такая причина считается Милашевым (1984) как наиболее вероятная для образования диатрем. Явление подобного спонтанного перехода, связанного с разуплотнением, декомпрессией вещества, имеет смысл реологического взрыва (Ярославский, 1982). Он должен отличаться от классического химического или ядерного взрыва, когда имеется взрывчатое вещество (ВВ), а порода дробится и выносится с помощью газов, выделяющихся при детонации ВВ. В нашей ситуации более вероятен случай объемной детонации, наиболее близкий известный аналог которой, например, детонация газообразных ВВ или пыли. Сделаем необходимые оценки.

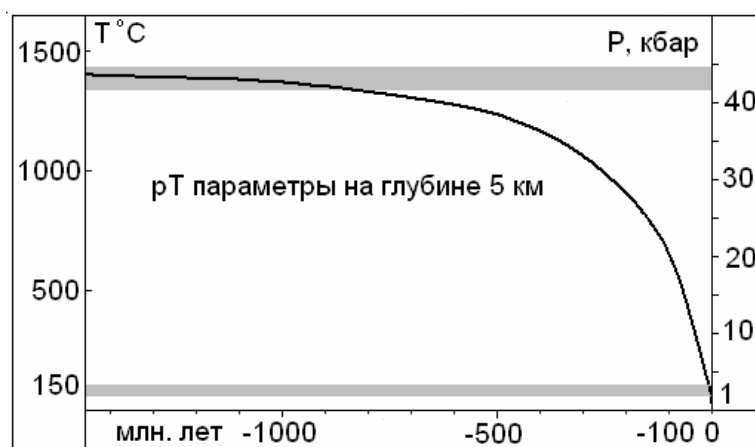


Рис. 5. Эволюция pT параметров Земли на глубине 5 км. Вверху - выделена зона оптимальных для образования алмазов параметров.

Стандартная трубка взрыва согласно данным, приведенным в (Милашев, 1984), представляет собой конус. Радиус основания конуса ~ 300 м, глубина ~ 2 км, радиус «острия» конуса ~ 20 м. Объем типовой диатремы $\approx 2.5 \cdot 10^7$ м³, а энергия, необходимая для дробления горной породы и выноса её из объема трубки, должна быть не менее $2.5 \cdot 10^{14}$ Дж. Плотность энергии оказывается порядка 10^7 Дж/м³, или 10^8 эрг/см³. Если допустить, что разуплотнение вещества в процессе его адиабатического охлаждения порядка самого объема, то «сбрасываемое» в этом процессе давление оказывается порядка 0.1 - 1 кбар. Эта оценка делается таким образом. Предположим, что величина g изменилась на $1/2g$. Давление p на глубине 10 км ≈ 2 кбар, следовательно, разуплотнение соответствует изменению p на 1 кбар и меньше. Необходимая плотность водорода n должна быть: $n = p/kT$, где $T = 10^3$ К, а k – постоянная Больцмана, что после подстановки дает: $n = 10^{21} - 10^{22}$ см⁻³. Общее количество атомов Si в см³ примерно равно 10^{24} , отношение H/Si, по нашей модели, должно быть порядка 10^{-3} , что примерно совпадает с нашими оценками. Если принять энергию водородной связи 10 ккал/моль, то на водород приходится примерно 1/30 часть, или около 1 кДж/г, что примерно в 4 раза меньше чем удельная энергия тротила. По оценке Милашева (1984), для создания типовой трубки взрыва необходимо примерно $2.5 \cdot 10^{14}$ Дж или, в тротиловом (TNT) эквиваленте 10^{11} г TNT. По нашим оценкам, эффективность перегретого вещества диатремы примерно в 4 раза меньше. Примем, что она хуже в 10 раз. Тогда масса ВВ должна быть порядка 10^{12} г, а масса самой трубки равна $5 \cdot 10^{13}$ г, что в 50 раз больше, чем масса ВВ. Можно сделать вывод, что идея образования объемного взрыва вещества диатремы, выброса материала на поверхность

Земли и охлаждение части вещества её недр вполне правдоподобна. По-видимому, имеет смысл учитывать и этот диссипативный механизм, так же как, дрейф материков, землетрясения, вулканизм, образование плюмов и т.п. Заканчивая этот раздел, на вопрос о том, могли ли образоваться алмазы на поверхности Земли, мы, по-видимому, можем ответить утвердительно.

Нефть и газ в контексте модели горячей Земли,

Проблема образования нефти и газа обсуждается среди специалистов до сих пор и, несмотря на всю свою значимость для человечества, все еще не имеет однозначного решения. Высказываются разные мнения по поводу органической и неорганической природы месторождений нефти и газа, выдвигаются и обсуждаются те или иные способы синтеза углеводородов в земных недрах, определяется роль водорода и тепла в этом процессе.

Рассмотрим модельную задачу, которая возможно имеет отношение к проблеме образования углеводородов. В любом случае, по своей постановке, эта задача находится в контексте нашей модели. Представим себе, что имеется некая газопроницаемая осадочная толща, в которой произвольным образом распределен углерод. Это может быть неорганический графит, или остатки органической жизни. Не будем делать различий, важно, что углерод, либо его соединения, - не летучи. “Продуем” эту среду водородом с одновременным её нагревом тепловым фронтом. Как следует из книг и статей по происхождению нефти и газа и формированию их месторождений, в таком случае могут образовываться углеводороды. Они, в отличие от первичного углерода, в достаточной степени летучи и способны диффундировать вдоль направления продувки и направления теплового фронта. Если на их пути встречается преграда, непроницаемая для углеводородов, то здесь может возникнуть и сформироваться месторождение (такая модель тривиальна и в достаточной степени очевидна). Легко убедиться, что в этой модели присутствуют два взаимосвязанных процесса: диффузия (перколяция) и дрейф (массоперенос). Свойство диффундировать углеводороды приобретают при водородной “продувке”, т.е. при массопереносе – дрейфе. В свою очередь, заметная прибавка подвижных частиц углеводородов к массе «продуваемого» водорода, меняют параметры массопереноса. Таким образом, образование углеводородных кластеров-фракталов приводит к прекращению процесса переноса.

Как известно, структура, включающая два взаимосвязанных механизма: дрейф и перколяцию, обладает способностью к самоорганизации (Хакен, 1980). Как известно, подобные процессы самоорганизации описываются известным уравнением Фоккера-Планка (ФП). Физический смысл решения уравнения ФП можно представить как зависимость вероятности появления функции с определенным потенциалом от величины этого потенциала. Чем выше потенциал (энергия, площадь поверхности и т.п.), тем меньше вероятность появления этого решения ($1/f$ фликкер-шум). В нашей задаче это означает, что должна наблюдаться линейная зависимость (в логарифмических координатах) между энергетическим параметром, характеризующим нефтяное или газовое месторождение и частотой встречаемости месторождений подобного типа. В принципе, если формирование месторождений углеводородов (УВ) происходит как процесс самоорганизации (а именно так реализуется преобладающее большинство процессов в Природе), то должна наблюдаться аналогичная зависимость. Показатель угла наклона такой прямой характеризует величину фрактальной размерности (Федер, 1991). Рядом авторов, в том числе и в этой книге, было показано, что по мере того, как система самоорганизуется все в большей и большей степени, величина фрактальной размерности убывает.

Проиллюстрируем сказанное на таком примере. В начале процесса мы имели некий объем, занятый углеродом. Топологическая размерность объема - тройка. По мере того, как происходила “прокачка” водородом, образование УВ и их диффузия в направлении

“продувки”, топологическая размерность области УВ убывала, стремясь к двойке и меньше. В этом случае толщина обогащенного УВ слоя стремится к минимуму, структура становится двумерной и меньше, напоминая известный «ковёр Серпинского». Таким образом, оценивая степень фрактальности ряда месторождений, можно сказать, насколько успешной была самоорганизация в процессе их образования.

Рассмотрим решение уравнения ФП, связанное с пространственным распределением зон повышенной концентрации УВ, т.е. с пространственным распределением месторождений. Примем, что месторождения УВ возникли в процессе самоорганизации некой геологической структуры, тогда они фрактальны. Воспользуемся параметром фрактальности, аналогичным тому, что используется для облаков, т.е. отношению площади поверхности месторождений S к их периметру P : $P = S^{D/2}$. (Для месторождений УВ это может быть совсем другой параметр, его ещё необходимо найти, но, в любом случае, будет выполняться общее для таких структур правило: больших месторождений - мало, меньших, - больше, ещё меньших, - ещё больше и т.д.). Показатель наклона прямой в координатах log-log определяет величину фрактальной размерности, величина которой, в свою очередь, показывает степень самоорганизации. По-видимому, для геологов-нефтяников особый интерес приобретает проблема cutoff, т.е. проблема ограничения величины и числа крупных месторождений. В последнее время эти проблемы оказались в сфере интересов новой области физики, занимающейся проблемой самоорганизованной критичности.

Как было показано в работе (Bak et al., 1987) и серии последующих работ различных авторов, системы с большим количеством взаимодействующих элементов естественным образом эволюционируют к критическому состоянию, в котором любое малое событие может привести к катастрофе или резкой смене состояния. Это состояние системы было названо авторами состоянием самоорганизованной критичности.

Согласно этой теории, составные части системы никогда не достигают равновесия, а эволюционируют от одного метастабильного состояния к другому. Авторы демонстрируют основную идею своей теории на примере с кучей песка. Песчинки высыпаются медленно и равномерно и всегда из одного и того же места. Песчинки образуют кучу, склон которой становится все круче, до тех пор, пока песчинки не образуют лавины. Считается, что система (куча песка) перед тем, как на неё упала последняя песчинка, находится в критическом состоянии. Песок сыплется с постоянной скоростью, а его количество меняется со временем и график этой величины представляет собой набор случайных хаотических чисел различной длительности, это фликкер-шум или шум мерцания. От белого шума он отличается тем, что система “помнит” все предыдущие сигналы.

Баком и др. (1987) было получено наиболее убедительное доказательство генерации фликкер-шума и образование самоорганизованной критичности двумерной структурой, включающей 100×100 маятников, связанных между собой торсионными пружинами. Начальное условие состоит в том, что маятники нестабильны. Затем система почти уравнивается и достигает т.н. локально минимально стабильного (т.е. максимально чувствительного) состояния. Предположим, что мы толкнем один маятник, ослабляя силу, удерживающую его в квазистабильном состоянии. Это вызовет колебания соседних маятников и возмущение (шум) будет передаваться посредством эффекта домино. Если в конце процесса все маятники вернуться в исходное состояние, то система стабильна к малым возмущениям. Ситуация существенно отличается, если возмущение будет усиливаться при его распространении, эта конфигурация уже нестабильна к малым возмущениям. Такая система эволюционирует и в ней образуется всё больше и больше минимально стабильных состояний, которые начнут задерживать распространение шума. Система придет в стабильное состояние в том случае, когда шум не сможет распространяться сколь угодно далеко. В этой ситуации можно ожидать возникновение

пространственно-инвариантной структуры минимально стабильных состояний, т.е. образования самоподобных фрактальных структур.

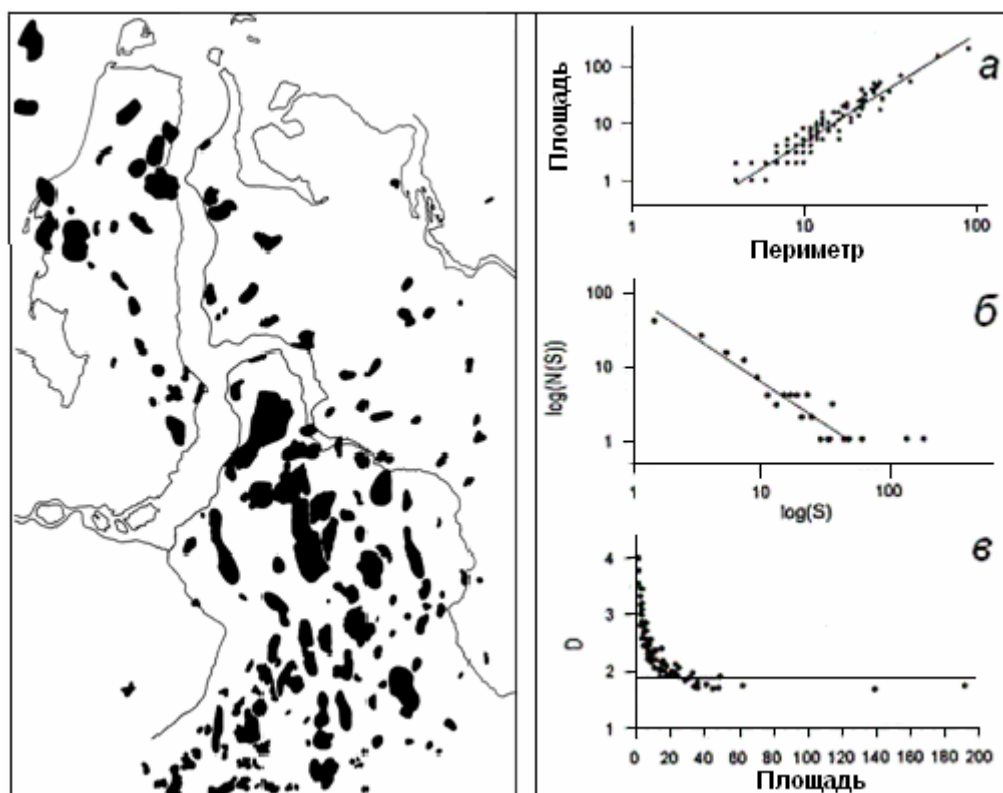


Рис. 6. Обзорная карта газовых и нефтяных месторождений севера Тюменской области.
Рис. 7. Фрактальный характер нефтяных месторождений: а) периметр P - площадь S в \log - \log масштабе; б) число месторождений N - площадь S ; в) фрактальная размерность $D = 2 \lg P / \lg S$, как функция S .

Компьютерное моделирование с использованием алгоритма Бака и др. показало, что P и S образующихся кластеров соответствуют полученным из наблюдений для облаков: $D \approx 1.33$. Этот факт показывает, что двумерная структура будет самоорганизующейся, если она образует кластеры, периметр которых P пропорционален их площади S : $P = S^{D/2}$. Т.о., если реальная структура, содержащая месторождения УВ, обладает аналогичными свойствами, то это может открыть новый подход к проблеме образования УВ, как к открытой структуре, способной к самоорганизации.

Воспользуемся картой месторождений УВ расположенных на севере Тюменской области (см. рис. 6). В поле нашего зрения попали 150 месторождений, в основном небольших, однако, здесь представлены и такие гиганты как Уренгой. Подсчет периметров и площадей месторождений УВ показал, что в масштабе $\log P - \log S$ все данные располагаются около общей прямой (рис. 7-а). Число месторождений от их величины в \log - \log масштабе представлено на рис. 7-б (tg угла наклона прямой = -1.15), а на рис. 7-в изображена зависимость фрактальной размерности $D = 2 \lg P / \lg S$ от площади S ($D = 1.85$). Этот рисунок показывает, что чем меньше размер залежи, тем больше размерность D . Главной причиной этого, по-видимому, является то, что используемая нами карта недостаточно подробна для выявления более мелких деталей залежей.

Анализируя рис. 7, можно отметить, что полученный результат по выявлению фрактальности структур залежей углеводородов идентичен результатам численного моделирования с алгоритмом Бака и др. по самоорганизованной критичности на двумерных решетках. По-видимому, идею аналогии между месторождениями УВ и

облаками можно признать удачной. Для того чтобы оценить область «обрезания» (cutoff) по всей видимости, мала статистика, это может означать, что-либо в этой области не выявлены более мелкие месторождения, либо крупные представляют собой не самостоятельные образования, а сумму более мелких. Получившаяся у нас фрактальная размерность D для залежей УВ больше, чем для облаков. Это может означать, что самоорганизация облаков происходит более эффективно, чем УВ. Однако это может означать и то, что на карте не нанесены более подробные детали строения УВ структур.

- **Сформулируем в контексте модели горячей Земли некоторые нерешенные задачи физики Земли.**
- **Решение их предполагает проведение теоретических и экспериментальных исследований, а также численного моделирования. Перечислим некоторые из задач:**
- **1. Моделирование выхода ударной волны (УВ) на поверхность. Двумерная модель «сильных движений» грунта в момент выхода УВ, условия «развала» УВ при подходе к поверхности (проблема защиты от землетрясения) и т.п.**
- **2. Математическая модель акустического сверхизлучения. Физика генерации ударной волны в сплошной среде, как на реализации структурного фазового перехода, в том числе и на квантовых эффектах нелокальности в природных минералах**
- **3. Механизм самогравитации большого числа ($>> 10^8$) микрочастиц, вращение «облака» частиц, образование волн плотности при формировании звезды и планет, волны плотности и закон Бодде, сгущение вещества на гребнях волн и т.п.**
- **4. Модель образования месторождений металлов при охлаждении горячей Земли за счет гигантских флуктуаций плотности при достижении критических температур.**
- **5. Устойчивость четырех долгоживущих вихрей Россби (одного циклона и трех антициклонов) в атмосфере с градиентом температуры: вихрей в атмосферах Юпитера и Сатурна и глобальных магнитных аномалий Земли.**
- **6. Разработка модели аддитивного источника генерации геомагнитного поля и, на её основе, - модели дрейфа магнитных полюсов в настоящее время и в прошлом.**
- **7. Моделирование конвекции во внешнем ядре при изменении (уменьшении) радиуса внутреннего ядра. Проверка гипотезы отсутствия упорядоченной конвекции при некоторых соотношениях радиусов оболочек.**
- **8. Моделирование радиационной обстановки на Земле в момент смены полярности геомагнитного поля с учетом эффектов разрушения радиационных поясов.**
- **9. Оценка предельных величин суперземлетрясений, супервулканов, суперураганов на Земле и супервспышек на Солнце - решение проблемы “cut-off” в геофизике и солнечно-земной физике. Разработка идей Тцаллиса о негиббсовской термодинамике в геофизическом приложении как способ решения проблемы.**
- **10. Изменения климата и роль выбросов пыли в стратосферу при взрывах супервулканов, роль экскурсов геомагнитного поля и связанного с ними повышения радиационного фона. Взгляд на современное потепление через призму палеоданных.**

- 11. *Эволюция жизни, причина кембрийского взрыва, временная привязка генетических мутаций к экскурсам и географическая приуроченность их к Африке.*
- 12. *Природа атмосферного электрического поля (АЭП), причина унитарной вариации в АЭП и ионосфере. Связь АЭП с климатом. Форбуш-понижение в АЭП, проблема быстрого восстановления поля после его понижения.*
- Очевидно, что круг задач намного шире...

- Обсуждая материал по физике Земли, представленной в этих лекциях, мы пришли к выводу о том, что в современной науке практически нет общих законов, принципов и закономерностей, следующих из общей теории Земли. Некоторые ученые называют такую науку – геонимией. Очевидно, что как науки, геонимии ещё нет, то есть, нет такой теории, и, естественно, нет и фактов, следующих из теории и подтвержденных наблюдениями и экспериментом. Зададимся вопросом: можно ли создать на базе новой модели горячей Земли теорию, или, по крайней мере, введение в теорию Земли, т.е., собственно, геонимию? Для этого необходимо установить соответствие между очевидными фактами, касающимися параметров Земли, с одной стороны, и результатами, следующими из модели, - с другой. Сформулируем некоторые закономерности, возможно, даже законы или проекты законов, следующие из нашей модели, подтвержденные опытом наблюдений:
 - 1. Образование планет и их спутников происходит одновременно и в едином механизме с рождением звезды. Начальная температура планеты (спутника) определяется его массой. В процессе образования вещество планеты (или его часть) находится в состоянии перегретого и переуплотненного пара. Эволюция планеты заключается в охлаждении нагретого вещества и превращении его из состояния пара в жидкость и жидкого – в твердое состояние путем реализации фазовых переходов (ФП) первого рода, конденсации и кристаллизации. Именно на этой стадии при критической температуре металлов формируются гигантские флуктуации их плотности – прообразы будущих месторождений полезных ископаемых.
 - 2. Образование планет и спутников и их последующая эволюция проходят под действием принципа минимизации гравитационного потенциала. Применение этого принципа формально позволяет оценить величину «поверхностного натяжения» планеты и на этой основе, оценить величину поверхностной силы Лапласа. Наличие силы Лапласа приводит к движению земной коры и верхней мантии вдоль по градиенту высоты геоида. Относительные повышения и понижения высот геоида при этом уменьшаются.
 - 3. Внутренняя энергия планеты и спутника обеспечивается функционированием двух экзотермических фазовых переходов (ФП): первый - на границе внутреннего ядра (конденсация - испарение), второй – на границе ядро-мантия (кристаллизация - плавление). Теплота первого ФП примерно в 20-30 раз выше, чем второго. Энергия ФП расходуется на создание теплового потока, дрейф континентов, образование океанов, генерацию магнитного поля, сейсмичность и вулканизм и т.п. Разность теплот ФП находит отражение в различии величин теплового потока Земли и Луны. Известно, что тепловой поток Луны меньше земного примерно в 30 раз.
 - 4. Геомагнитное поле возникает за счет реализации переноса вещества в проводящей среде области фазового перехода на границе внутреннего ядра. В течение эволюции количество перегретого вещества внутреннего ядра уменьшается, и после того, как оно полностью конденсируется, Земля

- потеряет магнитное поле. Эта ситуация, похоже, уже произошла с Луной, Марсом и, возможно, с Венерой.
- 5. Плотность перегретого пара вещества Земли в момент её образования выше, чем плотность её вещества в конденсированном состоянии. Горячее вещество, охлаждаясь, становится менее плотным. Земля при этом - расширяется. ФП происходит с выделением скрытой теплоты, что ведет к локальному нагреву и смене направления ФП: испарению вместо конденсации и плавлению вместо кристаллизации. Эти явления обеспечивают Земле пульсирующий режим расширения, её магнитному полю – режим смены полярности, сейсмичности, вулканизму и геодинамике – смену режима спрединга на режим субдукции и т.д.
 - 6. В цикле расширения материка за счет спрединга океанического дна расширяются. При этом изменяется форма геоида. В цикле сжатия (в настоящее время) Земля стремится минимизировать свою гравитационную энергию, уменьшая высоту геоида. Материки при этом движутся вдоль по градиенту геоида в направлении его нулевой высоты.
 - 7. В процессе эволюции поверхность Земли постепенно остывает. В некоторые моменты активации геодинамических процессов, связанных с циклами расширения Земли, происходят извержения супервулканов, во время которых в стратосферу выбрасывается огромное количество пыли. Наступает т.н. вулканическая зима – оледенение. Оледенение прекращается после того, как стратосферная пыль выпадает на поверхность Земли либо естественным путем, либо с помощью космических лучей за счет их участия в образовании дополнительного количества водного аэрозоля. Усиление интенсивности космических лучей и увеличение естественного радиационного фона на Земле происходят в моменты переполюсовки (инверсии) геомагнитного поля, когда прекращается экранирующее действие поля. Увеличение фона приводит к мутациям и резким изменениям биологического разнообразия.
- Хотелось бы надеяться, что успешное решение сформулированных выше задач позволит на поставленный вопрос ответить утвердительно.
- Эпилог
 - (Цитируя: У. Кэрри, В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной, М.: Мир. 1991).
 - На протяжении тысячелетий здравый смысл говорил о том, что Земля плоская, пока Пифагор не распознал её тень на Луне; но его представление о сферической Земле отвергалось ещё целое столетие. В течение следующих 16 столетий ученые твердили, что Земля неподвижный центр мироздания, пока Коперник не низвел её просто до положения одного из спутников Солнца, причем и Солнце вскоре стало казаться ничем не выделяющимся среди миллиардов других солнц; но провидение Коперника было отвергнуто современными ему астрономами и богословами. Живые существа считались уникальными, неизменными созданиями, пока Дарвин не выдвинул идею эволюции, но эту идею до сих пор подвергают злобному осмеянию верные последователи буквального толкования библии. Формирование органических химических соединений считали возможным только посредством «жизненной силы» живых организмов, пока Фридрих Вёлер не синтезировал мочевины; но прошло ещё несколько десятилетий, прежде чем старое ложное представление было отброшено.

- **Живое подобие Бога – человек, для которого создана вся Вселенная, только сейчас начинает осмысление себя как промежуточную вершину эволюционного процесса, который должен продолжать развиваться по ещё неизвестным путям на протяжении неисчислимых будущих эонов (Эон - в геологии, - длительный период времени, состоящий из нескольких эр). Ещё в текущем столетии аксиомой считалось неизменность относительного расположения материков, но Вегенер потряс мир, показав, что очертания этих материков удивительно точно совпадают. Однако он подвергся насмешкам и издевательствам, потому что физики настаивали на невозможности скольжения материковых плит по нижележащему субстрату. Когда американские океанологи не оставили сомнений относительно того, что все океаны расширяются с поразительно высокими скоростями, возражения физиков были сметены потоком всеобщего признания тектоники плит. Но, оглядываясь назад, мы видим, что физики были правы. Материки не движутся по подстилающей мантии. Истина была скрыта – как от геологов, так и от физиков – ещё одной ложной догмой: безосновательным допущением, что радиус Земли неизменен. Рост океанов дает Земле возможность расширяться без перемещения материков относительно находящейся под ними мантии.**
- **Избавились ли мы, наконец, от всех наших ложных аксиом? Конечно, нет. Сегодня нам надо набраться смелости и по примеру Пифагора, Аристотеля, Леонардо да Винчи, Ньютона, Дарвина, Вегенера и Эйнштейна освободить свой разум от ещё более ложных аксиом, унаследованных в нетронутом виде от нашего первобытного прошлого, - от того, что мы, якобы, хорошо «знаем», и считаем само собой разумеющимися, по сути, не задаваясь вопросом, верно ли это.**
- **Во-первых, ортодоксы всегда считали, что Вселенная была создана со своим полным количеством материи, которое в дальнейшем оставалось постоянным. Считалось также, что вся материя, имеющаяся в современной Солнечной системе, присутствовала и в первоначальной газовой туманности, из которой зародилось Солнце и его спутники. Подобным же образом считалось само самим разумеющимся, что всё вещество Земли унаследовано от времен её первоначальной аккреции. Все эти родственные допущения неверны: материя создается непрерывно и самопроизвольно на всех уровнях.**
- **Во-вторых, современная космология цепляется за миф о том, что время и пространство начали существовать несколько миллиардов лет назад, и что вещество 20 миллиардов звезд возникло из ничего при Большом Взрыве, и с того момента продолжает разлетаться во все стороны.**
- **В-третьих, ортодоксальная догма учит, что полная масса-энергия Вселенной колоссально велика. В отличие от этого, Трайон и я, независимо друг от друга, пришли к выводу, что космос всегда был, есть и всегда будет нулевым. С философской точки зрения никакого иного решения нет: нулевой космос никогда не мог бы появиться**
- **В-четвертых, Эйнштейн выражал удивление по поводу того, что инертная и гравитационная массы оказываются в точности равными, хотя это, - и не следует ни из какого фундаментального соотношения. Он также вывел формулу, согласно которой масса равна энергии, деленной на квадрат скорости света (которую можно представить как безразмерную величину). Таким образом, масса и энергия относятся к одной категории понятий – по существу это дополняющие друг друга двойники, как две стороны медали, рождающиеся вместе и уничтожающиеся тоже вместе. Если ко Вселенной**

добавляется новая масса, то добавляется и потенциальная энергия, в точности равная её инертной массе, - наоборот.

- В-пятых, законы Ньютона и Хаббла взаимно дополняют друг друга: один описывает наблюдаемое поведение Солнечной системы, другой – наблюдаемое поведение галактик. Соединенные в одном уравнении, они управляют динамикой всей Вселенной, автоматически делают ненужной космологическую постоянную Эйнштейна и определяют средний размер галактик.
- Каждое из этих пяти положений убивает одну из ложных догм, которые с самого начала принимались на веру, и они становятся, таким образом, в один ряд с представлением о сферической Земле Пифагора, гелиоцентризмом Коперника, принципом эволюции Дарвина, учением о расхождении материков Вегенера.
- Общий смысл всего этого долгого повествования – неоднократно повторяющиеся случаи сопротивления прогрессу со стороны наших убеждений – будь то религиозная доктрина, аристотелевские догмы эпохи Ренессанса или вето современного общества. Даже величайшие мыслители не могут избавиться от шор своей веры, своих убеждений. Вера – это наркоз, препятствующий познанию.
- Чем радикальнее отход от существующих ортодоксальных представлений, тем более несомненно, что «ересь» будет осмеяна и отвергнута. Стремление оградить свой престиж – уязвимое место великих людей, и даже такие реформаторы науки, как Вернер, Ньютон, Кельвин, Джеффрис, Бейли Уиллис, Гейлорд Симсон и Дж. Т. Уилсон, не преминули внести свою лепту в беспощадную травлю отвергаемых ими новых идей.
- Дело не только в том, что новое поколение приходит слишком поздно. Слава выдающихся достижений науки, так изумляющих нас, будет тускнеть, и тускнеть всё сильнее в самых неожиданных местах, и каждый новый успех будет освещать новые, более далекие горизонты – и так *ad infinitum* (до бесконечности).
- Но не ждите, что вас будут приветствовать, как героя, когда вы сделаете великое открытие. Скорее всего, к вам отнесутся с неприязнью и презрением – может быть, провалят на экзаменах. Ваши статистические выкладки, или ваши наблюдения, или ваше исследование литературы, или что-то другое, – наверняка покажутся явно несовершенными. Не сомневайтесь, что в наш просвещенный век действительно важные достижения отвергаются, и будут отвергаться чаще, чем получать одобрение. Не следует сомневаться и в том, что в нашей собственной профессиональной деятельности мы тоже будем отвергать с высокомерной категоричностью наиболее значительные идеи, когда они попадут на наш рабочий стол.
- Должны ли мы в таком случае доверять каждому еретику и бунтарю с его наивностью, энтузиазмом или упрямством, с каким он бросает вызов существующему порядку вещей? Конечно, нет! В большинстве случаев еретические взгляды бывают ложными, однако в нагромождениях лжи скрываются жемчужины века. Чтобы найти их безошибочно в доктрине или в ереси, нужен более острый ум, чем когда бы то ни было до сих пор, - но это наша вечная и, очевидно, недостижимая цель.

- Продолжая высказанную геологом Кэрри мысль относительно роли еретических взглядов и идей в науке, приведу принцип физика академика

А.М. Будкера, выступления которого в руководимом им институте ядерной физики Сибирского отделения РАН я имел удовольствие неоднократно слышать, работая в течение 10 лет после окончания университета в этом институте. Будкер, обращаясь к молодежи, говорил:

- **«Если у Вас возникла принципиально новая идея, и созрело желание или необходимость начать её разработку, ни в коем случае не читайте книг и статей в журналах, – думайте сами. Если что-либо такое «придумалось», начинайте читать. Если то, что Вы придумали, написано в книгах или статьях, бросайте это дело – Вы безнадежно отстали. Если этого никто раньше не придумал, – действуйте! Однако знайте, что в 99 % случаев вы сочинили чушь, но существует тот один заветный процент, который может привести Вас к успеху. Но, для достижения его, Вам придется пройти долгий и сложный путь, который не будет усыпан розами. Совсем, наоборот, во время этого пути Вас будут «топтать и поливать грязью», травить, унижать и всячески противоборствовать. И чем новее и необычнее Ваша идея, тем противоборство будет только сильнее. Успех ждет только того, кто пройдет этот путь до конца».**
- **Я придерживаюсь этого принципа более 40 лет работы в науке и все больше и больше убеждаюсь в его правоте, особенно в той его части, где говорится о травле, противоборстве и унижении...**