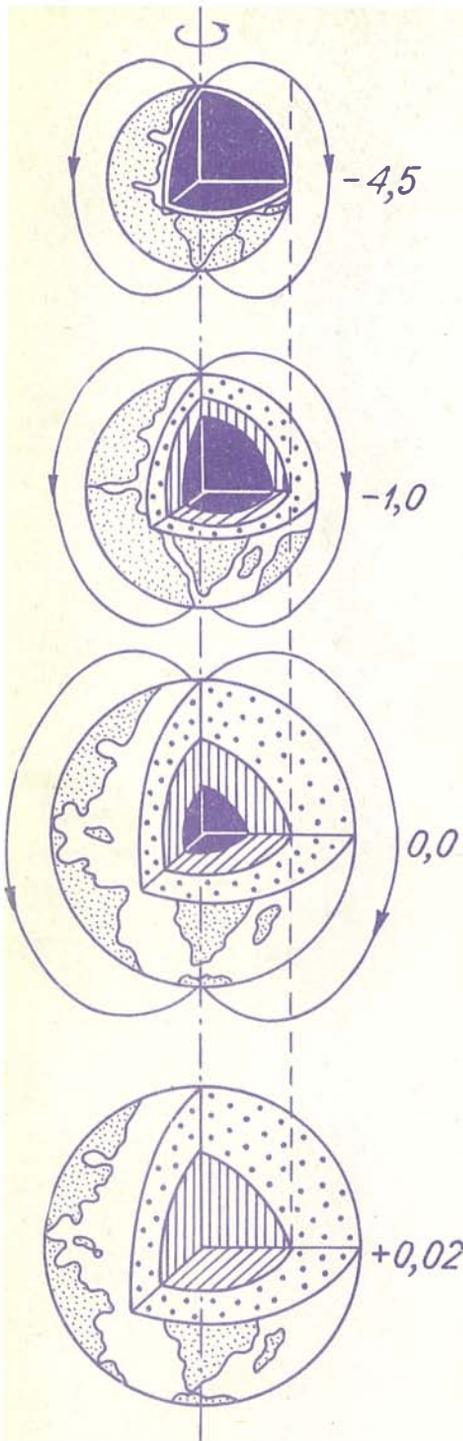


В.В. Кузнецов

# ФИЗИКА ЗЕМЛИ И СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

(МОДЕЛИ  
ОБРАЗОВАНИЯ  
И ЭВОЛЮЦИИ)

НОВОСИБИРСК 1984



**ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR  
SIBERIAN BRANCH**

---

**TRANSACTION OF THE INSTITUTE  
OF GEOLOGY AND GEOPHYSICS  
I S S U E 639**

**V. V. Kuznetsov**

**EARTH AND SOLAR SYSTEM  
PHYSICS**

**(MODELS OF ORIGIN AND EVOLUTION)**

**NOVOSIBIRSK 1984**

**АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**

---

**Труды Института геологии и геофизики  
В ы п у с к 639**

**В.В. Кузнецов**

**ФИЗИКА ЗЕМЛИ  
И СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**

**(МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ)**

**НОВОСИБИРСК 1984**

Кузнецов В.В. Физика Земли и Солнечной системы (модели образования и эволюции). Новосибирск: Изд. ИГиГ СО АН СССР. 1984. 92 с. (Тр./ИГиГ СО АН СССР, вып. 639).

Изложен оригинальный взгляд на образование и эволюцию Земли и Солнечной системы, основанный на использовании так называемой "горячей" модели. Предполагается, что Земля, другие планеты и их спутники появились практически одновременно в результате действия волнового механизма как следствие основного процесса — образования звезды — Солнца. Планеты в момент их создания представляли собой газообразные, высокотемпературные, высокоплотные образования, которые в процессе последующей эволюции (пути которой несколько отличались для каждой из планет) сформировались к современному состоянию посредством действия механизмов конденсации газообразного вещества (внутреннее ядро) в жидкое (внешнее ядро) и кристаллизации его в твердое (мантия и кора) состояние. В результате этих процессов Земля и другие планеты увеличивают свой размер — расширяются.

В рамках предлагаемой модели находят новое, оригинальное объяснение таким свойствам Земли как ее магнитное поле, дрейф магнитных полюсов и инверсия поля. Рассматриваются некоторые аспекты тектоники расширяющейся Земли.

Книга представляет интерес для широкого круга геологов и геофизиков.

Ответственный редактор  
академик А.С. Алексеев.

Рецензенты:

канд. геол.-мин. наук А.В. Ладнин (ИГиГ СО АН СССР),  
канд. техн. наук А.Г. Сенин (ВЦ СО АН СССР)

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

В предлагаемой книге излагается усовершенствованная и развитая автором, известная еще со времен Декарта концепция образования Земли и других планет из первоначально горячего и плотного вещества. Учет современных данных о свойствах и состоянии вещества при высоких давлениях и температурах, о процессах в нем позволил автору конкретизировать эту концепцию и извлечь из нее систему выводов и оценок, совокупность которых выводит ее из разряда натурфилософских построений на уровень физических моделей механизма образования и эволюции Земли и планет.

Суть гипотезы, из которой исходит автор, составляет допущение возможности существования протопланетного вещества в виде перегретого и переуплотненного газа, сжатого до плотностей около  $30 \text{ г/см}^3$  и удерживаемого гравитационными силами в некотором объеме.

Дальнейшие построения являются физическими следствиями этой гипотезы, выведенными с той или иной степенью детальности и обоснованности. Эти выводы в принципе проверяемы при современных возможностях физики и теории твердого тела и в большинстве своем достаточно убедительны.

Основная система выводов состоит в следующем: на периферии переуплотненного и перегретого вещества (газа) происходит его конденсация в жидкую фазу, составляющую вещество внешнего ядра Земли (переуплотненная область становится внутренним ядром, между внутренним и внешним ядром существует переходная зона, где смешиваются две подвижные фазы — газообразная и жидкая). Далее вещество жидкого внешнего ядра на его периферии кристаллизуется и образует твердую оболочку Земли (мантию). Конденсация переуплотненного газа и переход его в слабо сжимаемую жидкую фазу приводит к разуплотнению вещества и увеличению его объема. Это создает внутренние силы, приводящие к расширению Земли и к ее геодинамической эволюции.

Рассматривая различные физические, в частности электрические явления на фоне указанных процессов фазового перехода, автор приходит к выводу о возможности образования двойного электрического слоя в зоне перехода от внутреннего ядра к внешнему. Суточное вращение этого слоя и его собственная эволюция приводят к возникновению магнитного поля Земли с реально наблюдаемыми свойствами, которые не удается объяснить с помощью распространенной сейчас гипотезы гидромагнитного динамо.

В рамках концепции переуплотненного газа, находящегося в

нестационарном (и в неадиабатическом) состоянии автор дает весьма стройную картину образования планет Солнечной группы, которая наряду с известными закономерностями объясняет ряд фактов, не получивших пока объяснения (закон распределения масс планет, включая аномальный случай Марса, свойства магнитных полей ряда планет и т.д.).

Представляют интерес выводимые в книге следствия из механизма расширения Земли в сопоставлении с надежно сейчас установленными фактами кинематики горизонтальных движений блоков литосферы. Здесь уместно отметить, что сама концепция расширяющейся Земли не находится в противоречии с законами кинематики плит. Она дает иной, а по существу, дополнительный к гравитационной дифференциации и конвенции мантийного вещества источник энергии и механизм передачи движения от ядра к поверхности Земли. Что же касается горизонтальных движений, то концепция расширения Земли неизбежно к ним приводит и допускает широкий спектр этих движений.

Как редактору книги, принимающему на себя ответственность за научные последствия выхода ее в свет и за реакцию на нее читателей, принадлежащих к различным геолого-геофизическим направлениям и имеющим различную степень терпимости к дискуссионным ситуациям, в дополнение к ранее высказанным положительным замечаниям хочется добавить следующее. Здесь имеется, по существу, лишь один "сильно дискуссионный" элемент — допущение стабильного нестационарного состояния переуплотненного вещества (названного газом). Остальные построения выполнены на общепринятом уровне физической строгости и, можно сказать, внутренне гармоничны. Они явным образом не противоречат надежно установленным геологическим и геофизическим фактам. (Высокое значение плотности внутреннего ядра — около  $30 \text{ г/см}^3$  — не противоречит геофизическим данным из-за большой погрешности применяемых методов.) Более того, многие выводы книги и сама концепция расширяющейся Земли достаточно естественно объясняют ряд новых геологических фактов (отсутствие высоких гор в древности, характер наклона микрослоистости разновозрастных песчаников) без привлечения дополнительной гипотезы об изменении гравитационной постоянной.

И, наконец, книга написана живо и интересно. Можно сказать, что читатель извлечет из нее пользу и новые стимулы для дискуссий в затронутой области, в которой существует много трудных и нерешенных проблем. А дискуссии, как известно, двигают науку.

А.С.Алексеев

"Природа проста и не роскошествует излишними причинами вещей".

И. НЬЮТОН

## ВВЕДЕНИЕ

Науки о "Земле" и "Космосе", об их устройстве и взаимосвязи относятся к разряду самых древних. Однако, и в наши дни такие науки, как физика Земли и астрофизика, не дают однозначного ответа на многие вопросы. К тому же, количество достоверных фактов о Земле, Солнце, планетах и их спутниках нашей системы невелико и — что самое главное — нет единой теории, гипотезы или даже модели, объясняющих эти факты.

Благодаря развитию астрономии в настоящее время с достаточной большой точностью определены размеры, масса и средняя плотность планет, скорость их вращения вокруг Солнца и собственный момент. Но даже такая деталь, как заметное различие плотности планет земной группы, не находит объяснения. Так, более двухсот лет тому назад обнаружено, что орбиты планет, а точнее, величины больших полуосей орбит планет, подчиняются закону (правилу) Титциуса-Боде. Этому правилу подчиняется и расположение орбит спутников Юпитера, Сатурна и Урана. Этот факт, который свидетельствует в пользу того, что спутники, планеты, а значит и Солнце, образовались в результате действия какого-то одного механизма, не нашел отражения в космологических гипотезах, в частности в гипотезе О.Ю.Шмидта /13-1/.

Известно, что в течение всей истории Земли на ней происходили тектонические процессы: вулканизм, образование гор и впадин, движение материков, землетрясения и т.д. Но до сих пор нет ясного представления о внутреннем источнике энергии Земли. Известно также, что Земля обладает внутренним источником тепла. Тепловой поток пронизывает поверхность Земли, оставаясь примерно постоянным (за исключением ряда аномалий) на материках и океанах. Счи-

тается принятым, что тепловой поток обязан своим происхождением радиогенному источнику, однако последние исследования по радиоактивности глубинных пород ставят под сомнение и эту гипотезу.

Установлено также, что Земля обладает магнитным полем. Магнитное поле Земли складывается из дипольной компоненты и ряда мультиполей. Дипольная компонента, зависящая от скорости вращения Земли, периодически меняет свою полярность (инверсии магнитного поля). В настоящее время ее величина постепенно убывает. Причина появления мультиполей, заметно изменяющих общую картину магнитного поля, пока не ясна. По крайней мере, в существующей на сегодня магнитогидродинамической модели наличие мультиполей считается не обязательным.

Источник энергии магнитного поля Земли, так же как источник тепла и источник механической энергии, не объяснен. В геологической литературе отмечалась корреляция между эпохами повышения тектонической активности планеты и инверсиями магнитного поля, между тектонической активизацией и увеличением теплового потока, между аномалиями: гравитационными, магнитными и тепловым потоком. Все это наводит на мысль, что тектонические явления, генерация тепла и магнитного поля порождаются одной и той же причиной.

Развитие изотопных методов позволило оценить время образования Земли, Луны и Солнца. Оказалось, что Солнце, планеты и их спутники образовались примерно одновременно, 4,5-5 млрд. лет тому назад. Благодаря успехам геофизики, в частности сейсмологии, было установлено, что внутреннее ядро Земли ( $G$ -ядро по схеме Буллена) — твердое. Оно окружено (через промежуточный  $F$ -слой) жидкой  $E$ -оболочкой. Общеизвестным в настоящее время считается, что ядро Земли как твердое, так и жидкое, в основном железное. Основанием для такого вывода послужили два обстоятельства: во-первых, плотность Земли, особенно его ядра, существенно выше, чем плотность силикатов, во-вторых, многие метеориты состоят главным образом из железа. Существование твердого кристаллического ядра внутри жидкого при определенном градиенте давления считалось возможным лишь при сравнительно небольшой температуре внутреннего ядра. Полученное таким образом распределение температуры, плотности и химического состава вещества в ядре Земли вписывалось в "холодную" гипотезу образования Земли и планет. Правда, при этом

возникли некоторые трудности. Поэтому для объяснения источника внутреннего тепла пришлось ввести радиоактивность, для объяснения источника энергии тектонических процессов ввели "химико-гравитационную дифференциацию" и тепловую конвекцию твердого материала мантии Земли и т. д.

Однако главная задача автора настоящей работы не критика "холодной" модели, а попытка обосновать альтернативную "горячую" модель происхождения Земли.

Предпосылкой обоснования "горячей" модели послужило некоторое представление о состоянии вещества при давлениях и температурах, превышающих критические. В этих условиях вещество переходит в пар и никаким давлением не может быть переведено в конденсированное состояние. Плотность вещества  $\rho$  в таком "газообразном" состоянии может быть чрезвычайно большой; в пределе, при переходе вещества в состояние Ферми - газа, она может достичь величины  $\rho \approx 20 Z^2$ , где  $Z$  - порядковый номер элемента в таблице Менделеева.

Один из немногих (а возможно, единственный) способов получить представление о состоянии вещества при давлениях в сотни килобар и температуре в десятки тысяч градусов - это проведение экспериментов по физике высоких плотностей энергии. Суть этих экспериментов состоит в очень быстром (в течение  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$  с) вводе энергии в вещество. Удельная энергия по порядку величины примерно равна теплоте фазового перехода - теплоте испарения. Эксперименты проводятся в таких областях науки и техники как: физика взрыва (кумулятивные струи, высокоскоростной удар, сварка), взрывающиеся проволочки, воздействие на мишень мощного лазерного излучения или пучка заряженных частиц. Вещество, после воздействия на него импульса энергии, приходит в движение. Это движение удовлетворительно описывается (в большинстве случаев) уравнениями гидродинамики, однако в некоторых ситуациях поведение вещества, в частности металлов, не соответствует представлениям о нем, вытекающим из известных уравнений состояния и уравнений гидродинамики: металл не ведет себя как "идеальная жидкость".

Автором была предложена модель протекания процессов, согласно которой при поглощении энергии (удельная энергия порядка теплоты испарения), металл испаряется, переходит в "газообразное" состояние /18/. Он оказывается перегретым до температур выше кри-

тических ( $10^4$  К) и может быть сжат внешним давлением до плотности, выше своей исходной. В дальнейшем, при снятии давления, пар металла, адиабатически расширяясь, охлаждается и переходит в конденсированное состояние. Такая схема протекания процесса позволяет найти объяснение ряду экспериментальных фактов, не находящих его в рамках классической гидродинамической теории.

Используя этот подход для объяснения образования и эволюции Земли и планет, их тектонической деятельности и их магнитного поля, получим следующую схему: "горячая" конденсационная модель образования Земли и планет – гравитационное сжатие планетного вещества – его нагрев – перевод вещества в "газообразное" состояние – "охлаждение" этого вещества – конденсация "газообразного" вещества, его разуплотнение и расширение.

В заключение автор выражает глубокую признательность А.С.Алексееву за творческое восприятие основной идеи данной монографии, В.Н.Доровскому, В.К.Кучаю, А.В.Ладнину, А.Г.Сенину, В.Н.Шарапову – за обсуждение работы и ценные замечания, Л.А.Плоткиной и В.А.Стуковой – за помощь в оформлении рукописи.

## Глава I. ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ОБРАЗОВАНИИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И "ГОРЯЧЕЙ", РАСПИРАЮЩЕЙСЯ ЗЕМЛЕ

Как известно, в объяснение внутреннего строения Земли предлагались самые разноречивые гипотезы. Еще древние мыслители стремились связать все явления, происходящие на Земле, с механизмом ее образования и эволюции. В дальнейшем, в связи с дифференциацией знания о Земле, эта тенденция уже не прослеживается столь явно. Эволюции представлений о Земле и ее внутреннем строении посвящена обширная литература (см., например, обзоры в /7, 47/), поэтому мы ограничимся кратким обзором некоторых работ, имеющих отношение к "горячей" и расширяющейся модели Земли.

Проблема образования Солнечной системы также не имеет пока однозначного решения (хотя от него и зависит понимание внутреннего устройства Земли, планет и их спутников (см. /13, 26, 29, 30/). Не ставя себе задачу – включить в обзор все гипотезы и теории происхождения Солнца и планет, остановимся лишь на тех, которые основаны на использовании закона (правила) Тиддиуса-Боде.

### I.I. "Горячая" Земля /7/

Р.Декарт считал Солнце и звезды состоящими из вещества, подобно пламени. Земля первоначально также состояла из такого вещества и, кроме размеров, не отличалась от Солнца. Затем Земля остыла и образовала шесть оболочек, причем внутри их находилось ядро из вещества, имеющего ту же природу, что и Солнце.

Т.Лейбниц полагал, что Земля была сначала расплавленным шаром, после того как остыла, на ее поверхности выделились шлаки, которые образовали кору, а пары воды, окружавшие Землю, сгустились и образовали океаны. Работы Лейбница считаются развитием идей Декарта.

Идеи Декарта нашли развитие в работах Р.Гука. По его мнению, образование рельефа происходило под действием подземных огненных взрывов, эпицентр которых находится на очень большой глубине.

К идее первоначально расплавленной Земли пришел И.Ньютон. Этот вывод он сделал анализируя результаты измерения величины

силы тяжести на экваторе и полюсах. Ньютон вычислил, что Земля представляет собой фигуру вращения, несколько сплюснутую у полюсов, что возможно лишь при условии, что Земля первоначально была в расплавленном состоянии.

Гипотеза И.Канта о происхождении Земли и Солнечной системы основывалась на законе всемирного тяготения. По Канту, Солнце образовалось путем сгущения материи и одновременно с Солнцем сформировались вращающиеся вокруг него круговые туманности, в которых возникли зародыши планет. Развитием идей Канта стала гипотеза П.С.Лапласа. С его точки зрения, вокруг Солнца образовались газообразные кольца, которые при сгущении сконденсировались в планеты, находившиеся вначале в расплавленном состоянии.

Предположение о раскаленно-жидком состоянии внутренности Земли высказал А.Гумбольдт. Он считал, что вулканизм порожден воздействием огненно-жидкого ядра Земли на затвердевшую кору, которая на ранней стадии была тоньше, а действие вулкана — значительно интенсивнее, чем в наше время.

Сто лет тому назад немецкий геофизик К.Цёппригтц пришел к заключению, что ядро Земли состоит из газов, которые под влиянием высокого давления имеют плотность, равную плотности абсолютно твердого тела, но вместе с тем обладает свойствами газов. Вокруг газообразного твердого ядра располагается оболочка диссоциированных газов, затем — переходная от газов к жидкости оболочка, а далее — расплавленная масса и твердая кора. К аналогичным выводам пришел С.Аррениус, подобную же модель Земли предлагал и Ф.Ю.Левинсон-Лессинг.

Согласно гипотезе В.Н.Лодочникова — В.Рамзея, изменение плотности на границе земного ядра происходит благодаря фазовому переходу, когда вещество становится подобным металлическому. Этот переход совершается при давлении порядка  $1,4$  млн.атм и температуре около  $10\ 000^{\circ}\text{C}$ .

По А.Ритману и В.Куну, Земля образовалась, в основном из водорода и гелия ("строительного материала" Солнца), причем ядро Земли содержит "солнечное" вещество. Идею горячего газового ядра Земли отстаивал и Ф.Вольф.

## 1.2. Расширяющаяся Земля /47/

Считается, что предположение о возможном расширении Земли впервые высказал Ф.Бэкон.

В конце прошлого века В.Л.Грин и независимо от него Мантовани предложили модель расширяющейся Земли для объяснения сходства геометрии противоположных берегов Атлантики.

Научная полемика, развернувшаяся после выхода в свет книги А.Вегенера "Происхождение материков и океанов", породила не только концепцию дрейфа материков, которая укоренилась в английской школе, но и альтернативную концепцию расширяющейся Земли (развиваемую в основном в Германии).

Б.Линдеман доказал, что доминирующими признаками земной поверхности являются образование на ней трещин и расширение поверхности, разработал схему эволюции расширяющейся Земли, основанную на радиоактивном нагревании.

М.Боголепов, основываясь на гипотезе расширяющейся Земли, предположил существование вековых, зональных движений\* вещества мантии, т.е. по существу, ее конвекцию.

О.С.Хильденберг, разрабатывая модель расширяющейся Земли, впервые "собрал" континенты на глобусе диаметром, несколько меньшим 2/3 эталонного. Океаны в его модели не учитывались, земная кора закрывала всю поверхность глобуса.

Д.К.Б.Халл пришел к идее расширения Земли на основе теоретического анализа эволюции небесных тел, включая звезды и планеты. По его теории, радиус Земли за геологическое время увеличился примерно на 1000 км.

Д.Кендл считал, что источник расширения Земли находится глубоко внутри ее. Вся Вселенная и все в ней, по его мнению, находится в состоянии расширения.

А.И.Шнейдеров развивал теорию пульсирующей, расширяющейся Земли, считая, что в результате расширения возникали океаны, а в результате сжатия — горы. Он утверждал, что ядро Земли представляет собой плотную горячую плазму.

Р.Т.Валкер и В.И.Валкер также пришли к идее расширения Земли и объясняли это тем, что в центре Земли находится расширяющаяся масса.

Л.Эдвэд показал, что общий объем воды океанов за геологическое время увеличился и соответственно этому увеличились поверх-

ность Земли и отношение площади океанов к площади материков. Зная о выводе С. Дарвина, что в докембрийское время материкки имели существенный перевес над океанами, Эдвед подсчитал среднее увеличение радиуса Земли и оно оказалось равным 0,5 мм в год. Р. В. Фейрбридж, однако, полагал, что расширение могло ускориться в определенные эпохи, например, после мезозоя, что не исключена модуляция интенсивности процессов расширения Земли.

На симпозиуме по континентальному дрейфу (Хобарт, 1956) неоднократно отмечалось, что "сборка" материков Земли в единый материк приводит к значительным искажениям, которые практически исчезают, если провести ее на сфере с меньшим радиусом. Б. С. Хизен показал, что имеются два варианта модели континентального дрейфа; в одной материкки "плавают", в другой — Земля расширяется. Однако, в первом случае должно наблюдаться сжатие материков с одной их стороны и расширение — с другой. Но проведенные в северной Америке измерения показали, что такого различия нет, а это ставит под сомнение идею тектоники плит.

Дж. Т. Вилсон объясняет расширение Земли тем, что согласно гипотезе П. Дирака, гравитационная постоянная  $G$  может изменяться — уменьшаться со временем. Оставаясь в рамках этой гипотезы, он считает невозможным удвоение радиуса Земли за время ее эволюции.

Концепция уменьшения величины  $G$  придерживались Д. Иваненко и М. Сагитов. Б. В. Нейман и И. В. Кириллов собрали материкки на глобусе радиусом наполовину меньше современного и пришли к заключению, что Тихий океан появился на Земле лишь в кайнозое. Аналогичные реконструкции были выполнены Л. Бросске, С. Барнеттом, К. М. Криром.

Различные космологические и геологические следствия из гипотезы уменьшения величины  $G$  анализировал Р. В. Фейрбридж. Аналогичные работы выполняли А. Холмс и П. Иордан.

Р. Динли, на основе реконструкции докембрийских поясов, пришел к заключению, что Земля имела радиус 4,4 тыс. км около 2750 млн. лет тому назад и 6 тыс. км — 650 млн. лет тому назад.

Р. Мозервей, изучая топографию континентов, пришел к заключению, что их движение в регионе Тихого океана, постулируемое плитной тектоникой, невозможно. Перемещение континентов объясняется лишь в том случае, если Земля расширяется.

### 1.3. Образование Солнечной системы /26/

И.Кеплер в своем знаменитом труде "Космографическая тайна", по-видимому, одним из первых пытался выявить закономерность соотношения размеров планетарных орбит. Он обратил внимание на существование своего рода разрывов закономерности соотношения орбит Меркурия и Венеры, а также Марса и Юпитера.

И.Ньютон, положив начало теории гравитации, тем самым дал объяснение закономерностям планетных орбит, приливов и др. В результате под Законы Кеплера была подведена теоретическая база, а затем они были подтверждены и экспериментально.

Х.Вольф считал, что параметры планетных орбит подчиняются определенной закономерности.

В книге И.Канта "Всеобщая естественная история и теория неба" указывалось на возможность существования транссатурновой планеты, а также планеты между Марсом и Юпитером.

Первым сформулировал закон (правило) отношения планетных орбит И.Тиддус. На основании этого закона открывалась возможность предсказывать параметры орбиты еще не открытых планет. И.Э.Боде обнаружил публикацию Тиддуса и включил ее в свою книгу в качестве примечания.

Астроном В.Гершель, учтя этот закон, на заранее определенной орбите вскоре обнаружил планету Уран. Затем другой астроном Д.Пиацци обнаружил небольшую планету (астероид) на орбите, также определенной по тому же закону, между Марсом и Юпитером. Впоследствии на близких орбитах были обнаружены еще ряд астероидов. Была высказана идея, что это остатки разрушенной планеты Фазтон.

Д.Адамс и У.Ж.Леверье пытались обнаружить планету Нептун на орбите, определенной по закону Тиддуса-Боде. И хотя орбиты этой планеты, а также впоследствии открытого Плутона не соответствовали расчетным, считалось, что несовпадение "не слишком велико".

Рассмотрим теперь, какие же факторы могли породить в Солнечной системе закономерности, описываемые законом Тиддуса-Боде или его модификациями. Однако прежде остановимся на теории Ф.Хойля, который хотя и не анализировал закон Тиддуса-Боде, но его теория предлагает объяснения для большинства наблюдаемых особенностей Солнечной системы /26/.

Согласно Хойлу, когда протосолнце, сжимаясь, достигло радиуса (0,2 а.е.), при котором выполнилось условие равенства центробежной и гравитационных сил, возникла неустойчивость вращательного движения. Развитие этой неустойчивости привело к выбросу из протосолнца его вещества. Температура протосолнца в этот момент была достаточна для ионизации выброшенного вещества, а сильное магнитное взаимодействие обеспечило передачу момента количества движения от протосолнца к выброшенному веществу. Таким образом, Хойлу удалось объяснить (если, конечно, его модель верна) "поражительный факт", что Солнце обладает очень малым моментом количества движения по сравнению с планетами.

Остальные теории образования Солнечной системы в той или иной степени основаны на использовании геометрической прогрессии закона Тиддуса-Боде. Их обычно делят на электромагнитные, гравитационные и небулярные.

Из электромагнитных теорий отметим теории О.Биркеланда и Х.Берлаге, сходные в том, что в них протопланетное вещество предполагалось истекавшим из Солнца в виде заряженных ионов. Радиус орбиты планеты определялся массой и зарядом иона. Х.Альвен же предположил, что частицы газового облака, захваченного Солнцем, падая на него, ионизировались. Благодаря тормозящему действию магнитного поля момент количества движения Солнца передавался ионизованному газу.

Среди гравитационных теорий центральное место занимает теория О.Ю.Шмидта, согласно которой Солнечная система возникла в результате захвата Солнцем облака метеоритного вещества. В последних работах утверждалось, что это облако состояло из пыли и газа и даже было частью первичной солнечной туманности. Планеты образовались путем медленного объединения метеоритов. К закону Тиддуса-Боде приводит процесс "вычерпывания" метеоритного вещества образующейся планетой. Теория Шмидта предполагает изначальное разделение протопланетного вещества на две зоны: планет земной группы и планет-гигантов.

Л.Эддед предложил модель образования Солнечной системы, основываясь на гипотезе П.Дирака об изменении гравитационной постоянной. Согласно Эддеду, Солнце выбрасывает определенное количество вещества в некоторый момент времени. Радиус орбиты соответствующей планеты определяется текущей величиной гравитационной постоянной в этот момент.

Упомянем также теорию М. Вульфсона и теорию Б. Пендредда и И. Уильямса. По Вульфсону, Солнечная система образовалась как результат отторжения от Солнца его вещества при сближении с проходящей мимо звездой. Согласно второй теории, она возникла вследствие гравитационного коллапса захваченного Солнцем газового облака.

Среди небулярных теорий наибольший интерес представляет работа Берлаге, который рассмотрел уравнения равновесия вращающейся газовой туманности с учетом гравитационных сил и внутреннего давления газа. Межпланетные расстояния от планет до Солнца, по Берлаге, зависят от температуры газа и его химического состава.

В этом же ряду стоит приобретающая наибольшую популярность теория С. Вайлдеккера, в которой принимается, что Солнце и околосолнечная туманность имеют единый химический состав. Туманность представляет собой вращающийся диск, а в нем за счет внутреннего трения возникает турбулентность, приводящая к образованию вихревых ячеек, расположенных в кольцах, на которые разбивается туманность. Вихри, формирующие планеты, сообщают им вращение вокруг оси.

К небулярным относится и теория Г. Койпера, который полагал, что массы и удаленность планет от Солнца, связаны друг с другом тесным образом. В его теории протопланетная турбулентная туманность, находящаяся вблизи предела Роша (пределное расстояние, на котором приливные силы разрушают любую твердую планету), превращается в отдельные газовые сгустки — протопланеты.

Подчеркнем еще раз, что в нашу задачу не входил детальный обзор теорий образования Земли и Солнечной системы, внутреннего устройства Земли, ее эволюции, увеличения радиуса, т.е. расширения Земли. Модели и большинство следствий из них, о которых пойдет речь ниже, были известны и ранее. Однако, до сих пор не было предложено достаточно универсальной модели или гипотезы, охватывающей все глобальные явления на Земле и планетах, начиная с их образования и в последующей эволюции. Попытка обосновать такую модель составляет основное содержание предлагаемой читателю книги.

## Глава II. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Наша модель образования Солнечной системы основана на допущении, что газ, из которого образовались Солнце, планеты и их спутники, обладает определенным свойством, характерным для гидротропных сред, а именно способностью упорядочивать свой момент количества движения при гравитационном сжатии. В результате сжатия газовое облако начинает вращаться, вращаясь, оно изменяет свою форму – от сферы вначале к плоскому диску в конце процесса. Газ при этом ведет себя как сплошная среда.

Подобную концепцию впервые сформулировал Д. Джинс, который предложил рассматривать звездные скопления как сплошную среду – "жидкость", в которой "плавают" капли – звезды /12/. Д. Джинсом был введен критерий (критерий Джинса), согласно которому звездное скопление под действием самогравитации будет сжиматься, если альевеновская (гравитационная) скорость  $v_A$  ( $v_A = \sqrt{\frac{GM}{R}}$  где  $G$  – гравитационная постоянная,  $M$  – масса, сосредоточенная в пространстве радиусом  $R$ ) больше скорости звука  $v_s$  в этой среде ("жидкости"), и будет расширяться под действием собственного газокинетического давления в противном случае – если  $v_A < v_s$ .

Дальнейшее развитие эта гипотеза получила в работах С. Чандрасекара, который показал, что в движении звездного скопления можно выделить три связанных составляющих: 1) движение скопления как целого, 2) его сжатие либо расширение и 3) вращение /40, 41/. Справедливость принципов Чандрасекара для галактик подтверждена астрономическими наблюдениями, а в последние годы обнаружено вращение расширяющейся Вселенной.

Д. Джинс и С. Чандрасекар разрабатывали основные принципы движения звездных скоплений и галактик, причем из их рассуждений совсем не следует, что эти принципы, по крайней мере, некоторые из них, нельзя применять для объяснения движения гравитирующих масс значительно меньшего масштаба, т.е. динамики сжатия протосолнечного газообразного вещества.

Заметим, что проблема сжатия газового шара гравитационными силами как процесс, приводящий к образованию звезды, неоднократно рассматривалась и ранее (см., например, /29, 30, 31, 35, 37/). Однако астрофизиков интересовали прежде всего такие вопросы, как равновесие и устойчивость звезды, ее светимость, масса, состояние вещества, показатель политропы и т.п. /36/.

## II. I. Правило Бодэ

Динамика образования звезды и непосредственно связанное с этим процессом образование планет и их спутников как единое явление рассматривались, например, в /30/. Действительно, такой подход оправдан, стоит лишь принять во внимание характер расположения планет относительно Солнца, спутников – относительно планет, вращение планет и спутников, распределение масс планет и спутников по расстоянию и т.п. При этом в первую очередь устанавливается аналогия между Солнечной системой, с одной стороны, и системами Юпитера, Сатурна и Урана – с другой.

Известно, что планеты в Солнечной системе расположены в плоскости эклиптики в определенном порядке. Расстояние от Солнца до планеты (большая полуось эллипса)  $R$  в астрономических единицах (а.е.) описывается законом (правилом) Тициуса-Бодэ:  
 $R = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$ , где  $n = -\infty$  для Меркурия,  $n = 0$  – для Венеры,  $n = 1$  – для Земли,  $n = 2$  – для Марса и так далее до  $n = 8$  для Плутона (см. табл. I).

Таблица I

	Меркурий ☿	Венера ♀	Земля ♁	Марс ♂	Астероиды ♁	Юпитер ♃	Сатурн ♄	Уран ♅	Нептун ♆	Плутон ♇
Бодэ	0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6	-	38,8
Факт.	0,39	0,72	1,0	1,52	2,8	5,2	9,54	19,2	30,7	39,5

Нетрудно убедиться в том, что спутники Юпитера, Сатурна и Урана, во всяком случае наиболее близкие к ним, также подчиняются этому правилу (см. рис. I), причем величина  $R$  в этом случае определяется  $10^{-3}$  а.е. Обратим внимание на следующий характерный факт: масса планет Солнечной системы и спутников этих планет распределена неравномерно, самые крупные планеты и спутники приходятся на "средние" расстояния: Юпитер, Сатурн – в Солнечной системе, Калисто – в системе Юпитера, Титан – в системе Сатурна, Титания – в системе Урана.

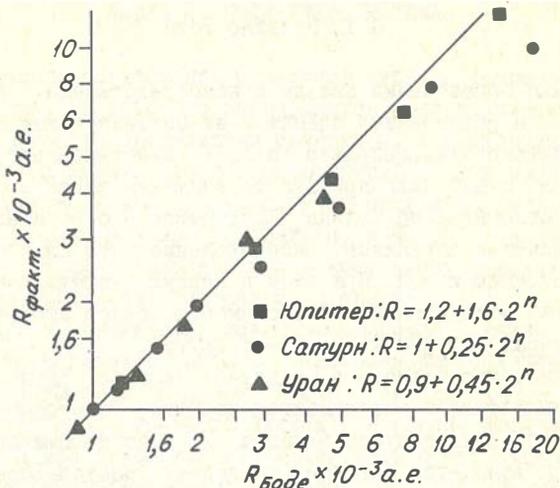


Рис. I. Расположение ближайших к планетам спутников:

$R_{\text{факт}}$  — фактическое расстояние до планеты,  
 $R_{\text{Б}}$  — рассчитано по правилу Титиуса-Бодде

## П.2. Температура

Приведенные факты позволяют сделать вывод: Солнце, планеты и их спутники образовались благодаря одному и тому же механизму. Суть его выявляется из принятого нами выше допущения, что гравитационное сжатие газа приводит к его вращению и превращению из сферы в плоский диск. В центре газового диска происходит уплотнение вещества и возникают условия, достаточные для начала конденсации — образуется центральное ядро, вдоль по радиусу с некоторой определенной периодичностью также возникают условия для конденсации, в результате чего образуются и обособливаются газовые "кольца", из которых впоследствии рождаются планеты. Если суммарная масса газа "кольца" достаточно велика (не менее  $15 M_{\oplus}$ ), вокруг зародыша протопланеты образуется система спутников, подобная Солнечной, движение которой описывается законом Бодде.

С учетом сказанного планеты Солнечной системы можно условно отнести к ряду Главной последовательности звезд /40/, в которой находится Солнце, и приблизительно оценить температуру в центральной части планет. Обратим внимание на то, что температура поверхности звезды в Главной последовательности примерно пропорциональна  $\sqrt{M}$ , где  $M$  - ее масса (см.рис. 2) /40/. Сделав очевидное допущение, что температура в центре звезды линейно связана с температурой ее поверхности и экстраполируя зависимость (см.рис.2а, б) в область масс, меньших  $1/25 M_{\odot}$ , оценим температуру в центре планет. Температура Солнца  $\approx 15 \cdot 10^6$  К, масса Юпитера составляет примерно  $10^{-3}$  от массы Солнца:  $M_J \approx 10^{-3} M_{\odot}$ , тогда температура в центре планеты Юпитер:  $T_J \approx 0,5 \cdot 10^6$  К, аналогично для Земли:  $M_{\oplus} \approx 1/300 M_J$ ,  $T_{\oplus} \approx 3 \cdot 10^4$  К, для Луны:  $M_L \approx 1/80 M_{\oplus}$ ,  $T_L \approx 4 \cdot 10^3$  К и т.д.

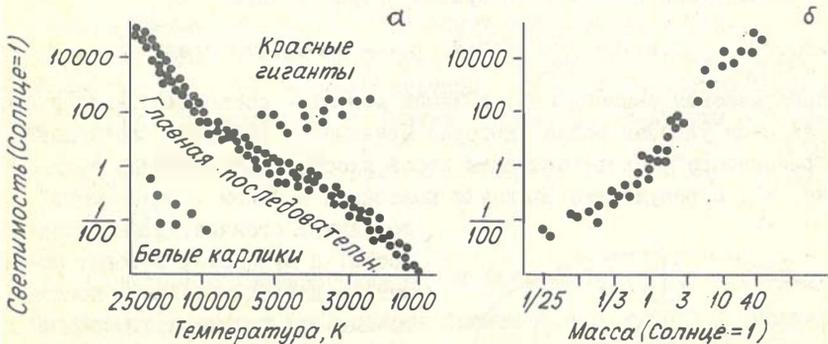


Рис.2. Светимость звезд (в относительных единицах) в зависимости от температуры их поверхности (2а) и массы (2б)

### П.3. Механизм образования Солнечной системы

Предложим один из возможных механизмов образования Солнечной системы, системы планет Юпитера, Сатурна и Урана, учитывающий и правило Боде. В качестве исходных предпосылок примем следующие:

1) протосолнечное и протопланетное вещество устойчиво существовало в виде плоского вращающегося "диска", кинетическая энергия вращения вещества "диска" обеспечивала планете (после ее об-

разования) необходимой скорости движения по кеплеровской орбите;  
 2) химический состав вещества "диска" соответствовал составу Солнца;

3) распределение плотности вещества в "диске" по радиусу описывалось гауссовским распределением;

4) из-за гравитационного возмущения в центре "диска" начался процесс конденсации - уплотнения вещества.

Скорость процесса конденсации пропорциональна поперечному сечению "капли" (зародыша звезды, планеты, спутника). С увеличением ее размера (радиуса  $r$ ) при прочих равных условиях скорость  $dr/dt$  будет увеличиваться. В плоском "диске", заполненном газом, в его центральной части, в результате процессов конденсации газа образуется ядро - своеобразный "поршень", расширяющийся со скоростью  $dr/dt$ . Когда эта скорость станет равной по величине местной (в этой среде) скорости звука  $U_S$

( $U_S = \sqrt{\frac{1}{K\rho_0}}$ , т.е.  $U_S \sim \sqrt{\frac{1}{\rho_0}}$ , где  $\rho_0$  - плотность среды,  $K$  - адиабатическая сжимаемость, в нашей модели - постоянная величина), образуется ударная волна, которая приведет к раскачке колебаний в "резонаторе", представляющем собой плоский вращающийся диск (рис. 3). В результате раскачки колебаний в таком "резонаторе"

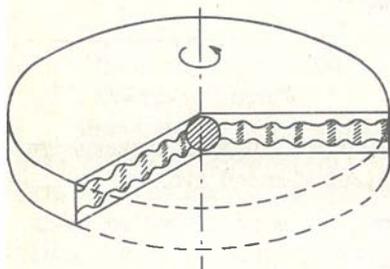


Рис.3. Протопланетный "резонатор".

возникнут стоячие волны плотности, в пучностях которых могут создаться условия, достаточные для начала конденсации и обособления колец. Вещество, сгущаясь и концентрируясь вокруг одного из центров конденсации в кольце, снова образует вращающийся плоский диск, в котором, так же как и в предыдущем случае, возникают колебания, обособление колец и т.п., т.е. процесс повторяется, но

уже в пространственно меньшем масштабе. Если по каким-либо причинам в протопланетном кольце не образуется резонатора с определенной периодичностью колебаний (например, недостаточна масса кольца, негауссово распределение плотности вещества в протопла-

нетном диске и т.п.), рождается один "большой" спутник (Луна - у Земли, Тритон - у Нептуна и т.п.).

Заметим, что объяснение периодической структуры в образовании звезд Галактики было построено на основе модели волн плотности /30-1/ и что в ряде работ приводились расчеты, подтверждающие образование колец при сжатии вращающегося изотермического протосолнечного облака /30-4/.

#### П.4. Оценки

Определим некоторые зависимости. Характерное время столкновения частицы газообразного вещества с "каплей" (зародышем конденсирующейся звезды, планеты, спутника)  $t = \frac{1}{\sigma \cdot n \cdot v}$ , где  $\sigma = \pi r^2$  - сечение "капли",  $n = \rho_0/m$  - концентрация частиц в газе,  $m$  - масса частицы,  $v$  - ее скорость;  $r \approx \sqrt[3]{V_K}$ ,  $V_K = V_B \cdot g$ ,  $V_K$  - объем "капли",  $V_B$  - объем частицы,  $g$  - число частиц в "капле".

Суммарное время роста "капли" определим следующим образом:

$$t = \int_1^g \frac{dg}{\sigma n v} \quad , \quad \text{так как } \sigma = \pi (V_B \cdot g)^{2/3} \quad , \quad \text{то } t = \frac{g^{1/3}}{V_B^{2/3} \cdot n \cdot v}$$

или  $t = \frac{r}{V_B n v}$

Подставляя значение для  $n$  и заменяя  $\frac{m}{V_B} = \rho_M$  - плотность планетного вещества (для оценок примем  $\rho_M \approx 3 \text{ г/см}^3$ ), получаем выражение для  $t$ :  $t = \frac{\rho_M \cdot r}{\rho_0 \cdot v}$ .

Из формулы следует, что время образования космического тела прямо пропорционально его размеру и обратно пропорционально исходной плотности вещества и скорости "прилипания" частиц  $v$ . Максимальной скоростью (а следовательно, и минимальное время  $t$ ), будет тогда, когда  $v = v_A$  (равна альвеновской скорости). Заменяя

$$M \approx \frac{4\pi}{3} \rho_M r^3 \quad \text{выражение для } t_{\min} \text{, получаем в следующем виде:}$$

$$t_{\min} \approx \frac{1}{\rho_0} \cdot \sqrt{\frac{\rho_M}{4\pi G}}$$

Подставляем значения  $\rho_M$  и  $G$ , тогда  $t_{\min}$  (в годах) будет примерно равно:

$$t_{\min(\text{лет})} \approx \frac{10^{-4}}{\rho_0} \quad (\rho_0 \text{ в } \frac{\text{г}}{\text{см}^3}).$$

Скорость роста "капли"  $\frac{dr}{dt}$  оденим аналогично предыдущему:

$$\frac{dr}{dt} \approx r \rho_0 \cdot \sqrt{\frac{4\pi G}{\rho_m}}.$$

## II.5. Волновой процесс

Вернемся к механизму образования планет и спутников. Для этого построим (в логарифмическом масштабе) зависимость поверхностной плотности вещества планет  $\rho_S$  от радиуса их орбит  $R$ . Величина  $\rho_S = \frac{M_i}{\pi(R_i^2 - R_k^2)}$ , где  $M_i$  - масса  $i$ -той планеты,  $R_i$  - ее радиус,  $R_k$  - радиус (большая полуось) внутренней относительно  $i$ -той планеты. Так как величина  $R$  (в а.е.) для планет описывается правилом Бодде:  $R \sim 2^n$ , расстояния между планетами в логарифмическом масштабе примерно равны (рис. 4). Через

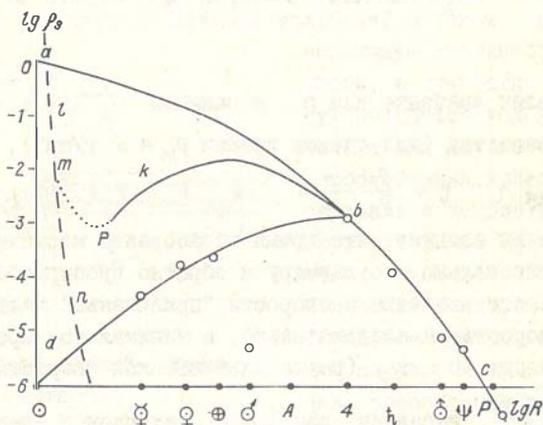


Рис.4. Распределение поверхностной плотности вещества планет  $\rho_S$  от радиуса их орбит  $R$ .

четыре точки, определяющие на графике плотность  $\rho_s$  для Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна, проведем гауссову кривую:  $abc$ . Величину  $\rho_s$  в точке пересечения этой кривой с осью  $\lg \rho_s$  примем равной единице:  $\lg \rho_s = 0$ ,  $\rho_s = 1$ . Проведем кривую  $dbc$ , которая покажет распределение поверхностной плотности планетного вещества в Солнечной системе. Проинтегрируем  $\rho_s$  по площади  $abd$ . Выясняется, что масса вещества, распределенная по площади этой фигуры, достаточно точно соответствует массе Солнца. Это означает, что на образование Солнца было израсходовано вещество, ограниченное на рис. 4 площадью кривой  $abd$ , из "остатков" же вещества были образованы планеты и их спутники (на рис. 4 площадь "остатков" околнурена кривой  $dbc$ ).

Как отмечено выше, протопланетный "диск" представляет собой цилиндрический акустический "резонатор", в котором за счет увеличения размеров "капли-поршня" (со скоростью  $dr/dt$ ) раскачиваются акустические колебания и возникают стоячие волны. Скорость звука в таком "резонаторе" обратно пропорциональна корню из плот-

ности:  $v_s \sim \frac{1}{\sqrt{\rho_s}}$ . Длина волны колебаний при условии, что  $dr/dt = \text{const}$ , а также  $\omega = \text{const}$  ( $\omega$  - частота колебаний),  $\lambda \sim \frac{1}{\sqrt{\rho_s}}$

В свою очередь, по правилу Боде,  $\lambda = R_i - R_k$ .

Пронормируем и построим кривую  $kbc$  на рис. 4, которая показывает зависимость  $\rho_s$  от  $1/\lambda^2$ , т.е. зависимость, определяемую правилом Боде. Согласно нашей модели в протопланетном "диске" распределение плотности  $\rho_s$  по кривой  $kbc$  соответствует раскачке колебаний, образованию "колец" и "закреплению" характерного расстояния между "кольцами" (т.е. между будущими планетами), определяемого правилом Боде. Протосолнечное вещество "распределено" по кривой  $lmn$ . Суммарное распределение плотности вещества в момент образования Солнца и планет описывается кривой  $lmpkbc$ , причем на участке  $mp$  выполняется условие  $dr/dt \sim R \cdot \rho_s = \text{const}$ , т.е. условие раскачки колебаний с постоянной частотой  $\omega$ .

Сделаем некоторые оценки. Для этого определим объемную плотность  $\rho_0$  для Земли, положив толщину выделившегося кольца, из которого она образовалась, примерно равной  $0,01 \lambda$  ( $\lambda$  Земли =  $0,3 \text{ а.е.}$ ).

Плотность вещества Земли, распределенная по кольцу радиусом  $R \simeq 1$  а.е., шириной  $\simeq 0,3$  а.е. и толщиной  $3 \cdot 10^{-3}$  а.е., называется порядком

$$\rho_{\oplus} \simeq \frac{M_{\oplus}}{2\pi \cdot 10^{-3} R^3_{(а.е)}} \simeq 10^{-10} \text{ г/см}^3.$$

Величина  $\rho_0$  ( $\rho_0$  - плотность протосолнечного вещества) примерно на два порядка выше, так как это вещество в основном состоит из водорода, а количество примесей в нем не превышает 2,5%. Предполагается, что на этапе образования Земли и планет земной группы водород не мог быть удержан гравитационными силами этих планет и был ими утерян. Плотность  $\rho_0$  в районе Земли в таком случае оказывается равной примерно  $10^{-8}$  г/см<sup>3</sup>.  $\rho_0$  в точке  $\alpha$  - начальная плотность протосолнца:  $\rho_0 \simeq 10^{-6}$  г/см<sup>3</sup>, газ - водород.

Сравним величину плотности  $\rho_0$  с критической плотностью  $\rho_{Дж}$ , из критерия Джинса:

$$\frac{GM}{R} \gtrsim v_s^2.$$

Заменяя  $M$  на  $\rho_{Дж} R^3$ , получаем:

$$\rho_{Дж} \gtrsim \frac{v_s^2}{GR^2} = \frac{10^{-9}}{R^2_{(а.е)}} \text{ (г/см}^3\text{)},$$

$v_s$  - скорость звука ( $v_s \simeq 1$  км/с). Для Земли  $\rho_{Дж} \simeq 10^{-9}$  г/см<sup>3</sup> оказывается на порядок ниже нашей оценки ( $\rho_0 \simeq 10^{-8}$  г/см<sup>3</sup>).

Согласно нашим оценкам, минимальное время образования Солнца  $t_{\min} \simeq 10^2$  лет. Для того, чтобы в течение этого времени можно было раскатать акустический резонатор, частота колебаний должна быть не ниже чем  $\omega \simeq 1(\text{год})^{-1} = 3 \cdot 10^{-8}$  1/с. Зная  $\omega$  и  $\lambda$ , можно оценить скорость звука в среде:  $v_s \simeq \lambda \omega = 1$  км/с.

По порядку величины это примерно соответствует скорости звука в водороде при нормальных условиях ( $T = 300$  К,  $\rho \simeq 10^{-4}$  г/см<sup>3</sup>,  $v_{H_2} \simeq 1$  км/с). Используя зависимость  $v_s \simeq \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ , можно оценить температуру газа (водорода) в той области нашего "резонатора", в которой впоследствии будет образована Земля. Величина  $T$  оказывается порядка:  $T = 10$  К. Так как мы взяли верхнее значение  $\omega$ , то получили максимальное значение температуры газа. Тепловая скорость молекул газа  $v_T$  при этом равна или несколько меньше  $v_s$ .

Таким образом, мы получаем ограничение для скорости движения частиц кольца по радиусу  $v_R$  при образовании протопланетного "диска". Величина  $v_R$  всегда должна быть меньше  $v_T$ :  $v_R \ll v_T$ . Для оценок примем  $v_R = 10^2$  км/с, тогда время, в течение которого частицы соберутся в диск,

$$t_{Ri} = \frac{2\pi R_i}{v_R} = 3 \cdot 10^3 R_i \text{ (лет)}.$$

Очевидное условие эффективного образования планеты состоит в том, что скорость ее образования должна быть ниже скорости "подвода" частиц из периферийных областей кольца:  $t_p > t_{Ri}$ , где  $t_p \approx \frac{10^{-4}}{\rho_0}$ . В рамках наших допущений вполне может оказаться, что

условие  $t_p > t_{Ri}$  не выполнялось для планеты Марс и в значительно большей степени - для планеты "Фазтон", т.е. пояса астероидов (рис. 5). Действительно, как следует из распределения плотности  $\rho_s$  для протопланет в момент их образования (кривая  $kbc$  на рис. 4), максимальная плотность приходится на область Земля - Марс - пояс астероидов, что соответствует самой большой скорости образования планет ( $t_p$  - минимально), однако размеры кольца для этих планет (величина  $R_i$ ) заметно различаются,

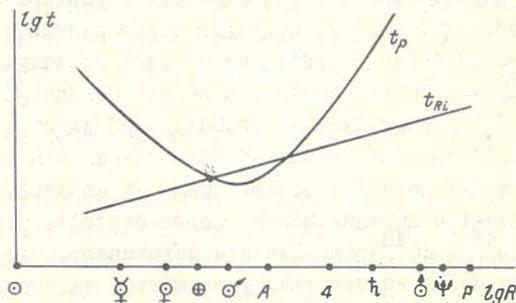


Рис. 5. Время образования планет  $t_p$  и время формирования протопланетного "диска" из кольца  $t_{Ri}$ .

что в принципе, может привести к ситуации, изображенной на рис. 5.

Проиллюстрируем сказанное примером. Согласно рис. 4, плотность  $\rho_0$  для Земли, Марса и пояса астероидов соответственно равна  $10^8$ ;  $2 \cdot 10^8$ ;  $2 \cdot 10^8$ , что дает значение  $t_p$  -  $10^4$ ,  $5 \cdot 10^3$ ,  $5 \cdot 10^3$  лет. В свою очередь, величина  $t_{Ri} = 3 \cdot 10^3, 4,8 \cdot 10^3, 8,4 \cdot 10^3$  лет - для Земли, Марса и астероидов соответственно. Следовательно, условие  $t_p > t_{Ri}$  для астероидов не выполняется. Возможно, что действие этого эффекта и привело к тому, что планета Марс

оказалась столь малых размеров, а планета "Фазтон" вообще не образовалась. Вместо планеты на ее орбите возникли астероиды.

## II.6. Скорость вращения

Согласно нашему допущению гравитационное сжатие протосолнечного вещества приводит к его вращению, которое фиксируется после образования звезды и планеты во вращении их вокруг своей оси. Все тела Солнечной системы вращаются, однако Солнце, Меркурий и Венера вращаются слишком медленно. По соотношению

по соотношению  $\frac{R^3}{T^2} = \text{const}$

(третий закон Кеплера) можно оценить начальную скорость вращения поверхности Солнца. Она примерно на два-три порядка выше, чем в настоящее время (2 км/с). Радиальная скорость вращения поверхности (в районе экватора "молодого" Солнца) - около  $10^{-3} c$  ( $c$  - скорость света), при этом будет уже заметна анизотропия излучения. Этот эффект приведет к увеличению светимости (за счет генерации более жесткого излучения) на величину примерно  $10^{-3} \mathcal{L}_\odot$  ( $\mathcal{L}_\odot$  - современная светимость Солнца;  $\mathcal{L}_\odot = 3,8 \cdot 10^{33}$  эрг/с) /3/.

В настоящее время Солнце обладает энергией вращения  $2,4 \cdot 10^{42}$  эрг /3/. В момент образования эта величина была примерно на 4-6 порядков больше (так как начальный период вращения был на два-три порядка меньше современного), т.е. составляла примерно  $10^{46} - 10^{48}$  эрг. Расчеты показывают, что скорость вращения Солнца может значительно уменьшиться за счет анизотропии излучения в течение  $10^8 - 10^9$  лет. Можно сказать, что излучение "остановило" Солнце.

Известно, что более молодые звезды возрастом порядка  $10^6$  лет (звезды стадии T - Тельда) вращаются значительно быстрее Солнца /30-6/. Анализ звезд различного возраста позволил установить зависимость скорости вращения звезды от ее возраста ( $t$ ). Оказалось, что скорость вращения убывает как  $t^{-0,5}$ . Звезды T - Тельда обладают скоростью вращения около 150 км/с. В /30-6/ (с. 810) отмечается, что если бы Солнце вращалось с такой скоростью, то "его момент количества движения был бы примерно равен моменту количества движения планет. Отсюда напрашивается вывод, что солнечная туманность могла участвовать в общем вращении задолго до стадии T - Тельда. Когда планеты сформировались и туманность стала тон-

кой, обращение планет и вращение Солнца разделились. Затем по мере того, как само Солнце теряло массу, его вращение замедлилось... и по прошествии миллиардов лет его вращение стало столь медленным, как в настоящее время". Это другая точка зрения на возможный механизм торможения вращения Солнца.

Наблюдения за звездами типа Т - Тельца /там же/ приводят к еще одному важному для нас выводу. Планетные системы этих звезд уже сформировались (если они вообще есть). "Облака пыли и газа вокруг этих звезд являются достаточно тонкими и пропускают излучение. Это означает, что конденсация большей части вещества "звездной туманности" уже произошла..., это позволяет наложить ограничение на время, в течение которого должно произойти формирование планет. Если планеты формируются в основном до стадии Т-Тельца, то этот процесс должен происходить в течение первых  $10^5$  лет их жизни" /там же, с. 808/.

Итак, предлагаемая модель образования Солнечной системы основана на постулировании одновременного рождения звезды, системы планет и систем их спутников. Механизм образования едн, все различия заключаются в количестве исходного материала, участвующего в процессе.

Отметим, что подобная идея была положена в основу гипотезы Канта-Лапласа.

Главным аргументом в защиту такой постановки вопроса служит использование в предлагаемой модели правила Тиддуса-Боде, описывающему расположение орбит планет системы и спутников Юпитера, Сатурна и Урана.

По всей видимости, термоядерная реакция в звезде способна самоподдерживаться при массе звезды порядка или более  $1/25 M_{\odot}$ . Однако, согласно нашей модели, во Вселенной могут образовываться системы типа Солнечной (или типа системы Юпитера), но с массой центрального тела меньшей  $1/25 M_{\odot}$ . Очевидно, что зарегистрировать по излучению такие системы можно лишь в инфракрасном диапазоне или в радиодиапазоне.

Далее, если допустить, что масса протосолнечной туманности (газового шара) была в несколько раз больше исходной либо допустить, что распределение плотности в момент образования Солнца было таким, что на долю Юпитера выпало не  $10^{-3} M_{\odot}$ , а, например,  $1/25 M_{\odot}$  или даже  $10^{-2} M_{\odot}$  (так как известны расчеты мини-

мальной массы звезды порядка  $10^{-2} M_{\odot}$  /30-3/, то возникла бы типичная для Главной последовательности двойная звезда (известно, что более половины звезд Главной последовательности – двойные). Как следует из нашей модели, ничего особенного при этом не произошло бы (возможно, за исключением некоторого изменения орбит планет, следующих за Юпитером). Кстати вопрос о том, что такое Юпитер, планета или "звезда", неоднократно поднимался после обнаружения космическими аппаратами "Пионер X" и "Пионер XI" мощного теплового излучения и высокой симметрии его гравитационного поля, характерного для газового шара.

В рамках предлагаемой модели могут быть по-новому освещены некоторые вопросы космогонии и астрофизики, однако автор хорошо сознает, что и такой подход к проблеме больше порождает вопросов, чем дает ответов на них.

Так нельзя однозначно судить о том, как среда упорядочивает собственный момент количества движения при гравитационном сжатии, какова динамика образования звезды (планеты), а значит и образования планет (спутников), расположение орбит которых подчиняется закону Бодэ, каков механизм замедления вращения звезды (Солнца), какова природа катаклизма, приведшего к замедлению вращения Меркурия и Венеры; почему не образовалась планета "Фазтон" и оказался столь невелик Марс и т.п.

Ясно, что ответы на эти вопросы может дать только сотрудничество ученых в процессе развития и интеграции наук и космических исследований.

### Глава III. ЯДРО ЗЕМЛИ

В нашей модели предполагается, что  $4,5 \cdot 10^9$  лет тому назад на месте Земли существовало пылегазовое "облако" с массой, превышающей массу современной Земли и плотностью  $\rho_0$ , состоящее в основном из водорода, гелия, кислорода и кремния. В процессе образования Солнца и планетных систем вещество было сжато гравитационными силами, протоземля приобрела вращение, в ее окрестности возникли волновые процессы. Так как масса вещества "облака" сформировавшегося из "кольца" была относительно невелика, ее гравитационных сил не хватило на то, чтобы удержать водород и гелий и эти газы были потеряны. Массы "облака" не хватило также на то, чтобы "организовать акустический резонатор", подобный солнечному, юпитерианскому и т.п. Системы спутников вокруг Земли не возникло, образовалась одна Луна, что можно рассматривать (в рамках нашей модели) как результат воздействия отдельной акустической волны (солитона).

#### III.1. Температура и плотность ядра

Потенциальная энергия гравитационного поля

$$\mathcal{E}_G = -G \int_0^M \frac{m(r) dm(r)}{r}$$

(но не более половины ее, согласно теореме вириала /40/) перешла в кинетическую энергию сжатия  $\mathcal{E}_K = \nu \int_0^M dm$  где  $G$  - гравитационная постоянная,  $\nu$  - коэффициент диссипации энергии сжатия, определяемый как "вязкость" вещества Земли. В процессе

сжатия с гравитационной (альвеновской) скоростью  $v_G^2 = G \int_0^M \frac{dm(r)}{r}$

часть вещества Земли сконденсировалась. Далее, по мере увеличе-

ния удельной энергии сжатия  $\mathcal{E}_0 = \frac{GM}{R}$  вещество перешло в жидкое ("расплавленное") состояние, а при дальнейшем увеличении величины  $\mathcal{E}_0 (\mathcal{E}_0 \approx U)$  - в газообразное состояние в результате действия гравитационных сил Земли ( $U$  - теплота фазового перехода жидкость-пар):

Величина  $\mathcal{E}_0$  для  $M = M_{\oplus}$  и  $R = R_{\oplus}$  оказывается порядка 60 кДж/г, что примерно в четыре раза превышает теплоту фазового перехода жидкость-пар для окиси кремния -  $U_{SiO_2}$  ( $\approx 15$  кДж/г).

Средняя температура Земли при ее образовании  $T \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\mathcal{E}_0}{C_p} \approx 3 \cdot 10^4$  К

(порядок величины тот же, что и в /22/,  $C_p$  - теплоемкость). Распределение температуры по радиусу  $T \sim \frac{1}{r}$ , так как  $\mathcal{E} \sim \frac{1}{t}$  а  $t$  - время образования планеты:  $t \sim \frac{1}{v}$ . В действительности величина  $v$  является функцией  $T$  и распределение температуры по радиусу носит более сложный характер.

Согласно предлагаемой модели температура в области внутреннего ядра Земли ( $G$ -ядро, по схеме Буллена) оказывается выше, чем  $10^4$  К. Это выше критической температуры ( $T_k$ ) твердых веществ: так, для ряда металлов  $T_k$  не превышает  $10^4$  К /9/. Если вещество находится при температуре выше критической, никаким давлением его нельзя перевести в конденсированное состояние /21/. В этом случае вещество во внутреннем ядре Земли может находиться в газообразном состоянии, перескатым гравитационным давлением до металлической (и выше) плотности. Предельное, теоретически возможное состояние вещества при высоких давлениях, - Ферми-газ, "идеальность" которого возрастает по мере увеличения плотности /21/. На этом основании для оценки термодинамических характеристик вещества применим формулы, справедливые для идеального газа.

Температуру "газа" (конечно, очень приближенно) оценим по известной скорости звука (рис. 6):  $v_s = \sqrt{\frac{\gamma R T}{\mu}}$ , где  $v_s \approx 11$  км/с - скорость продольных волн в  $G$ -ядре,  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  - адиабатический коэффициент,  $R$  - газовая постоянная,  $\mu$  - молекулярный вес.

Полагая, что Земля в целом, включая ее ядро, состоит в основном из кислорода, для оценок будем считать  $\mu \approx 16$ . Скорость звука (в км/с)  $v_s \approx 0,2 \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ , отношение  $\frac{T}{\mu} \approx 2,5 \cdot 10^3$ . Тогда для принятого значения  $\mu$  температура "газа"  $G$ -ядра оказывается порядка 30-40 тыс. градусов (по-видимому, это несколько завышенное значение). Зная температуру "газа" можно оценить его плотность при условии равенства газокинетического давления давлению в цен-

тре Земли  $\rho: \rho = nkT$   
 (  $n$  - концентрация,  $k$  -  
 постоянная Больцмана).  
 Этой формуле можно при-  
 дать вид  $\rho_2 \approx 10 \frac{\rho M}{T}$ ,

где  $\rho_2$  - плотность в  
 $\text{г/см}^3$ ,  $\rho$  - давление в  
 млн.атм,  $M$  и  $T$  - атом-  
 ный вес и температура  
 (в тыс.градусов). Для при-  
 нимаемого обычно в центре  
 Земли давления  $\rho = 3,5$  млн.  
 атм, температуры  $T \approx 15 \cdot$   
 $10^3$  К и  $M \approx 16$ , плотность  
 $\rho_2 \approx 35 \text{ г/см}^3$ .

Проследим зависимость  
 плотности  $\rho_2$  от величи-  
 ны гравитирующей массы  $M$ ,  
 заменяя давление  $\rho$  на

$$\rho = \frac{GM^2}{r^2 S} \quad (\text{где } S - \text{площадь поверхности: } S \sim r^2, r \sim (M)^{1/3}),$$

получим  $\rho \sim (M)^{2/3}$ . Как показано в предыдущей главе,  $T \sim (M)^{1/2}$ .

Подставляя в формулу для  $\rho_2$  ( $\rho_2 \sim \frac{\rho}{T}$ ), получаем:  $\rho_2 \sim (M)^{1/6}$ , т.е.  
 очень слабую зависимость от величины гравитирующей массы. Заметим,  
 что плотность вещества в центре Солнца  $\rho_{2\odot} \approx 160 \text{ г/см}^3$  при тем-  
 пературе  $15 \cdot 10^6$  К [3]. Отношение  $\rho_{2\odot} / \rho_{2\oplus} = 160 / 35 \approx 4,5$ .

Эта же величина, полученная при использовании зависимости  $\rho_2 \sim (M)^{1/6}$ ,

$$\rho_{2\odot} / \rho_{2\oplus} = \sqrt[6]{\frac{M_{\odot}}{M_{\oplus}}} \approx 8 \text{ оказывается несколько большей, что либо}$$

приводит к еще более слабой (чем корень шестой степени) зависи-  
 мости  $\rho_2$  от  $M$ , либо, если отношение плотностей пропорцио-  
 нально корню шестой степени из отношения соответствующих масс,  
 плотность  $\rho_2$  в центре Солнца оказывается примерно в два раза  
 выше:  $\rho_{2\odot} \approx 290 \text{ г/см}^3$ .

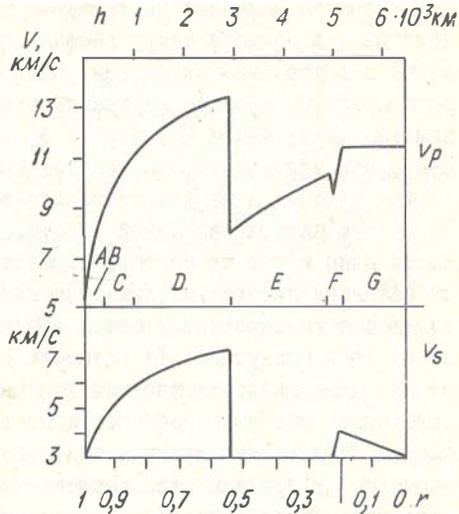


Рис.6. Распределение скоростей сей-  
 смических волн (продольных  $v_p$  и по-  
 перечных  $v_s$ ) по радиусу Земли [3/

Обратим внимание на характер поведения скоростей продольных волн  $\mathcal{U}_p$  в области между внешним ядром Земли (Е-слоем, до Буллену) и внутренним ядром (см. рис. 6). В слое F, толщина которого  $\approx 120$  км (радиус внутреннего ядра 1280 км), скорость звука заметно ниже, чем в G-ядре и E-слое. Это принципиальный момент, без учета которого рассчитанный годограф волн, отраженных от внутреннего ядра не удовлетворяет экспериментальным данным /13-4/. По мнению автора названной работы, "...ядро и оболочка Земли могут иметь один и тот же состав, а различие их свойств может объясняться фазовыми переходами вещества глубин Земли. Подтверждением теории фазового перехода в свете данных сейсмологии, по-видимому, можно считать следующее: 1) резкость границ ядра и внутреннего ядра, 2) аномалии скорости упругих волн вблизи границы ядра и внутреннего ядра. Обе эти особенности по теории фазового перехода должны иметь место вблизи границы перехода. Наряду с хорошо известной аномалией у границы ядра аналогичная аномалия у границы внутреннего ядра также может быть приписана фазовому переходу" /13-4/, (с. 119-120).

К аналогичному выводу приводит и наша модель ядра Земли, согласно которой G-ядро представляет собой перегретый пар, F-слой - область фазового перехода пар-жидкость, E-слой - вещество в жидком (расплавленном) состоянии, граница между слоями D и E (мантией и ядром) - область фазового перехода твердое тело - жидкость.

Возвращаясь к особенности поведения акустических волн в области F, заметим, что скорость звука в двухфазной среде (жидкость + пар), в которой давление  $p$  и температура  $T$  являются зависимыми переменными и связаны друг с другом уравнением равновесия фаз, всегда ниже, чем скорость звука в той или иной фазе /20/. Знание скоростей звука в F-области, E-области и G-ядре дает в принципе возможность определить термодинамические характеристики вещества ( $C_p, T, U...$ ). Заметим, что скорость звука в двухфазной среде была вычислена и измерена для ряда металлов в экспериментах со взрывающимися проволочками /9/. Она оказалась заметно ниже, чем в исходных металлах.

Обратим внимание на характер скорости продольных волн в G-ядре (см. рис. 6). Неизменность скорости по радиусу находится в противоречии с "холодной" моделью Земли, согласно которой в твер-

дом железном ядре скорость звука должна увеличиваться с возрастанием давления (уменьшением радиуса). В газообразном ядре скорость звука постоянна и не зависит от его радиуса.

В нашей модели вещество G-ядра обладает плотностью  $\rho_2$ , т.е. значительно большей, чем  $\rho_3$  - средняя плотность Земли. Для упрощения модели примем, что Земля состоит из вещества в двух состояниях, с плотностями  $\rho_1$  и  $\rho_2$ . Она обладала бы плотностью  $\rho_1$  в том случае, если бы в ее составе не находилось вещество с плотностью  $\rho_2$ . Величина  $\rho_1 \approx \rho_3 - \frac{V_G}{V_3} \rho_2 \approx 5,2 \text{ г/см}^3$ , где  $\rho_3 = 5,5 \text{ г/см}^3$ ,  $V_G, V_3$  - объемы G-ядра и Земли соответственно.

### Ш.2. Распределение температуры и плотности по радиусу

Согласно модели, Земля состоит из вещества, находящегося в трех состояниях: "газообразное" высокоплотное G-ядро (1), конденсированное, "жидкое" внешнее ядро (2), из которого выделилась (в виде "шлака") твердая оболочка (3). Масса твердой оболочки

$\frac{4\pi}{3} \rho_D (R_3^3 - R_E^3)$  должна быть равна массе  $\frac{4\pi}{3} (\rho_2 - \rho_E) (R_E^3 - R_G^3)$ , где  $\rho_D$  - средняя плотность твердой оболочки (D-слоя, по Буллену),  $R_E$  - радиус внешнего ядра,  $\rho_E$  - его средняя плотность.

Величину  $\rho_D$  оценим по формуле для средней плотности планет, подставляя вместо R толщину оболочки ( $R_3 - R_E$ ):  $\rho_D \approx 3,8 \text{ г/см}^3$ , плотность  $\rho_E$  из равенства масс:

$$\rho_E \approx \rho_2 - \rho_D \cdot \frac{R_3^3 - R_E^3}{R_E^3 - R_G^3} \approx 14 \text{ г/см}^3,$$

плотность  $\rho_2$  была оценена нами ранее:  $\rho_2 \approx 35 \text{ г/см}^3$ . Таким образом, мы получили ориентировочную оценку средних плотностей для трех выделенных слоев (зон) Земли и, полагая, что линейное увеличение плотности зависит от глубины (от уменьшения радиуса Земли), можно построить примерное распределение ее по радиусу. Но прежде отметим, что в нашей модели выделенные зоны разделяются через фазовый переход одного состояния в другое.

Полагая, что в составе протоземли наряду с водородом, кислородом и кремнием, которые преобладали, имелись и многие другие химические элементы и соединения с различными термодинамическими характеристиками (температура и теплота фазового перехода, тепло-

емкость и т.п.), можно допустить, что в процессе эволюции, выделения и обособления зон в них происходило разделение, дифференцирование химического состава вещества. Следовательно, на границе зон возможен "скачок" плотности. Величина его, по пределу Радо, не должна превышать  $\Delta \rho \approx 4,6 \text{ г/см}^3$  на границе ядро-мантия.

Ограничим  $\Delta \rho$  ( $\Delta \rho = 4 \text{ г/см}^3$ ) и построим ориентировочное распределение плотности Земли по ее радиусу, полагая, что плотность в пределах выделенных зон линейно увеличивается с глубиной, а величины средних (по зонам) плотностей равны полученным нами ранее. Вид этой зависимости изображен на рис. 7 а. Заштрихованная область, в которую попадает наше распределение, ограничивает верхний и нижний пределы Радо /13-5/.

В распределении температуры по радиусу точно также должны наблюдаться "скачки" в областях фазовых переходов. Как отмечалось выше, температура вещества в слое F должна быть порядка  $10^4 \text{ К}$ , в G-ядре - выше  $(1,5 - 3) \cdot 10^4 \text{ К}$ , на границе ядро-мантия - порядка температуры кристаллизации и составлять примерно  $(3-4) \cdot 10^3 \text{ К}$ . Распределение температуры по радиусу  $r$  в области ядра должно быть примерно  $\sim 1/r$  (см. рис. 7, б).

### III.3. Эволюция Земли

Вопрос о том, расширяется Земля или нет, а если расширяется, то с какой скоростью, давно волнует геологов и геофизиков. Одним из основных доказательств расширения (как, впрочем и его отсутствия) служит интерпретация палеомагнитных данных /27/. В пользу отсутствия расширения, по мнению ряда специалистов, свидетельствует то, что в настоящее время, согласно экспериментальным данным, Земля не расширяется, а если расширяется, то с очень малой (доли миллиметра в год) скоростью.

Наиболее убедительными, на наш взгляд, геологическими доказательствами расширения Земли служат два момента: во-первых, совпадение контуров материков и "сшивание" их на сфере радиусом примерно  $0,55 R_3$ , т.е. на радиусе ядра Земли (рис. 8) (подобная ситуация на Земле существовала (по оценке /50/) примерно  $(1-1,6) \cdot 10^9$  лет тому назад); во-вторых, заметное различие в возрасте материков и океанов и различие химического состава их коры.

Итак, рассматривая эволюцию Земли в рамках нашей модели, за исходные условия примем: Земля образовалась  $4,5 \cdot 10^9$  лет тому назад, радиус ее был несколько меньше чем  $0,55 R_3$ , средняя плотность — порядка  $35 \text{ г/см}^3$ , средняя температура более  $10^4 \text{ К}$ , основной состав — водород, кислород, кремний.

Первые  $3,5 \cdot 10^9$  лет своего существования Земля медленно, за счет теплопроводности ее вещества и излучения тепла в пространство, остывала. Примерно  $3,8 \cdot 10^9$  лет тому назад поверхность Земли остыла до температуры порядка (или ниже)  $100^\circ\text{С}$ , сформировалась континентальная кора и образовались древние океаны ( $3,8 \cdot 10^9$  лет — возраст наиболее древних осадочных пород).

Оценим массу воды, которая могла быть сконденсирована на поверхности Земли из атмосферы. При  $100^\circ\text{С}$  давление паров воды  $p \approx 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ ; площадь Земли примем равной  $\approx 1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^2$ , высоту атмосферы  $\approx 20 \text{ км}$ . В таком случае максимальное количество воды, сконденсировавшейся на Земле из атмосферы, не превышало  $5 \cdot 10^{21} \text{ г}$ , что примерно в 300 раз меньше современной массы океанов. Это означает, что источник воды на Земле — она сама, ее недра, а способ выделения воды — дегазация водорода и кислорода из ядра и мантии, последующий их синтез и конденсация.

Остывание происходило не только у поверхности Земли, но и в более глубоких слоях. Как только их температура понизилась до величины, при которой мог реализоваться фазовый переход газообразного высокоплотного вещества в конденсированное, начался процесс

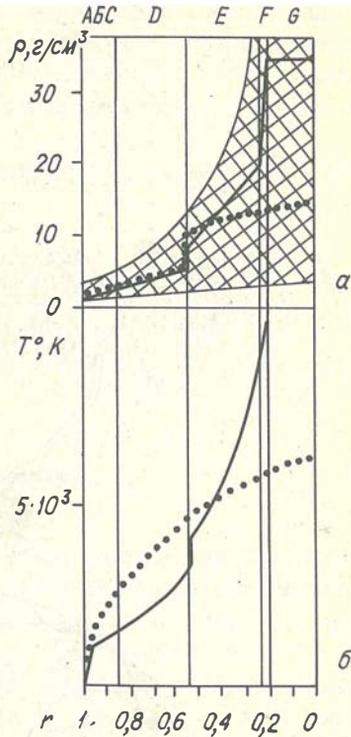


Рис.7. Характер распределения плотности  $\rho$  и температуры  $T$  по радиусу Земли (точками отмечено аналогичное распределение, данное в /3/).

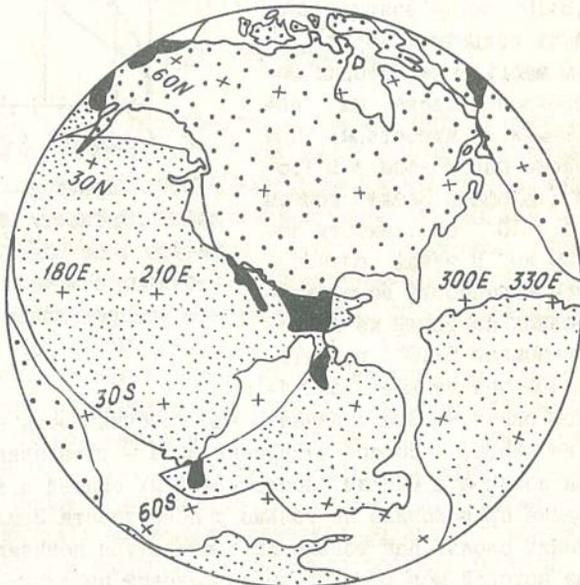
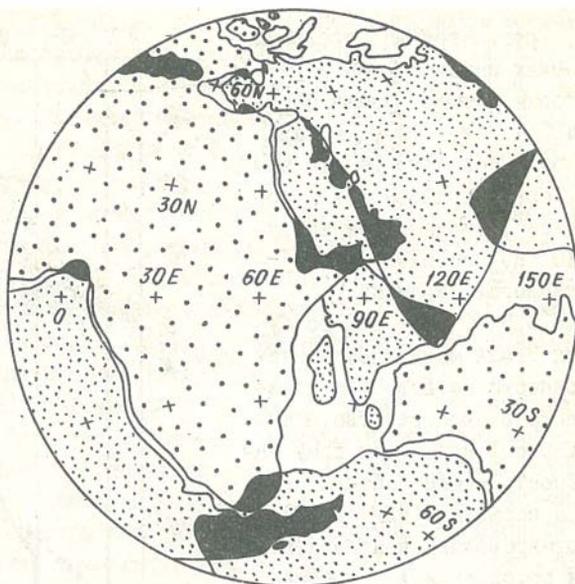


Рис.8. "Сливание" материков на сфере радиусом  $0,55 R_3 / 50/$ .

конденсации на границе внешнего и внутреннего ядра (обособление внутреннего ядра). Следствием этого явился процесс кристаллизации конденсированного вещества на границе внешнего ядра, т.е. генерация вещества мантии, что и привело к увеличению радиуса Земли, ее расширению.

Эволюцию Земли (согласно нашей модели) проследим по рис. 9:

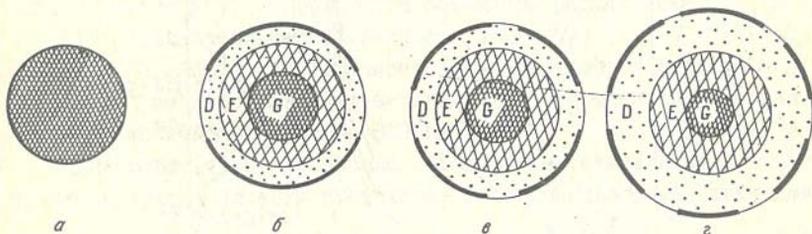


Рис.9. Эволюция Земли.

а) после образования Земли ее радиус равен радиусу ядра, плотность — порядка  $\rho_2$ , поверхность равна современной поверхности материков; б) начинается процесс конденсации вещества  $G$ -ядра и кристаллизации конденсированного вещества, т.е. процесс генерации мантийного вещества, вызывающий расширение Земли: материки раздвигаются, образуются современные океаны; в) продолжение эволюции — дальнейшее раздвижение материков, увеличение толщины мантии; г) современное состояние Земли. Эволюция ее продолжается, она окончится, когда все вещество  $G$ -ядра перейдет в конденсированное состояние.

Разрастание коры и мантии происходит посредством магматических процессов, связанных с конвективным перемешиванием вещества и его эффективным охлаждением. Охлаждение, в свою очередь, приводит к увеличению скорости конденсации, скорости расширения. Такой процесс в принципе может самоускоряться, подобно, например, раскату тепловой неустойчивости. Эта модель качественно согласуется с временной зависимостью увеличения радиуса Земли, построенной Кэри и Хильдебергом по палеомагнитным, палеогеографическим, палеоклиматическим и геологическим данным /10/ (см. рис. 10).

Резкое возрастание радиуса Земли (и соответственно других ее параметров, рис. 10) в течение времени эволюции может быть объяснено следующим образом.

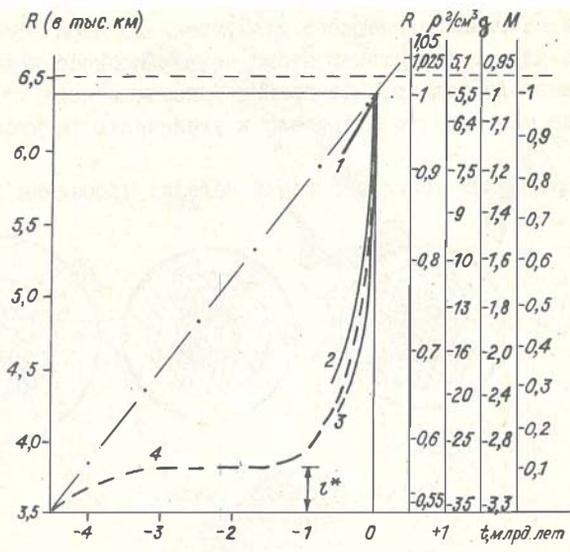


Рис.10. Увеличение радиуса в течение эволюции Земли:

1 — по Эддеу, 2 — по Кэри, 3 — по Хильденбергу /10/, 4 — по нашей модели. Изменение средней плотности Земли —  $\rho$ , ускорения силы тяжести —  $g$ , относительное увеличение массы мантии (океанов) —  $M$ .

Горячая Земля после образования стала остывать с поверхности в основном за счет радиационного охлаждения (излучения). Охлаждение более глубоких слоев обеспечивалось действием процессов теплопроводности. Так как этот процесс очень медленный, конденсация вещества  $G$ -ядра и кристаллизация вещества  $E$ -слоя были в значительной степени заторможены. Тем не менее развитие этих процессов приводило к тому, что постепенно уменьшалось  $G$ -ядро и увеличивалась толщина мантии. Как только толщина мантии достигла некоторой характерной величины  $l^*$ , в мантии стала возможной конвекция. Начало действия механизма конвекции привело к резкому изменению режима охлаждения Земли, возрастанию интенсивности процессов кристаллизации и конденсации, увеличению ее радиуса, причем чем больше величина  $l$ , тем интенсивнее она возрастает.

Сделаем некоторые расчеты. Конвекция в слое толщиной  $\ell$  между двумя плоскостями, поддерживаемыми при постоянной температуре  $\Delta T$ , должна возникать при числе Рейля:  $R_\alpha > 1710/20$ :

$$R_\alpha = \frac{g \cdot \beta \cdot \ell^3 \Delta T}{\nu \kappa}.$$

Подставляя характерные для мантии Земли величины ускорения силы тяжести  $g$ , коэффициента объемного расширения  $\beta$ ,  $\Delta T \approx 3 \cdot 10^3$  К, кинематической вязкости  $\nu$  ( $\nu = \eta/\rho$ ;  $\eta = 10^{21} - 10^{23}$  Пуаз;  $\rho \approx 3$  г/см<sup>3</sup>) и коэффициента температуропроводности  $\kappa$  ( $\kappa \approx 10^{-2}$  см<sup>2</sup>/с), получаем величину  $\ell^*$ , при которой должна начинаться конвекция, порядка 300 км.

Для того, чтобы произошло наращивание (охлаждение, так как процессы кристаллизации происходят с теплопроводными временами) слоя толщиной  $\ell^*$ , необходимо время  $t$ :  $t \approx \frac{C_p}{\lambda} \cdot \rho \cdot \ell^2$ . А это для  $C_p/\lambda \approx 30$  см·с/г дает величину  $t$  порядка  $3 \cdot 10^9$  лет.

Полученные оценки неплохо и качественно, и количественно согласуются с зависимостью  $R(t)$ , приведенной на рис. 10.

Оценим среднюю скорость расширения Земли, поделив толщину мантии ( $\ell = 2,9 \cdot 10^3$  км) на время эволюции ( $t = 4,5 \cdot 10^9$  лет):  $v_r = \ell/t \approx 6 \cdot 10^{-2}$  см/год. Конечный радиус Земли (при  $R_G = 0$ ;  $\rho_3 = \rho_1 = 5,2$  г/см<sup>3</sup>) оказывается примерно на 2,5 % больше современного ( $\Delta \ell \approx 160$  км). Если взять среднюю скорость  $v_r$  получим, что процесс расширения будет продолжаться еще примерно 250 млн. лет. Если же взять среднюю скорость расширения по Хильденбергу (см. рис. 10), около 1 см/год (соответствует 6 см/год по экватору) за последние 100 млн. лет, то выяснится, что, во-первых, такая скорость расширения обеспечивает фиксируемое раздвижение материков, во-вторых, период предстоящего расширения Земли сократится до 16 млн. лет.

Расширение Земли противоположно по направлению действию гравитационных сил сжатия. Когда силы, приводящие к расширению, превалируют над силами гравитационного сжатия, - Земля расширяется, если наоборот, - сжимается (это возможно, пока в центре Земли находится "газ"). Таким образом, мы приходим к модели расширяющейся и пульсирующей Земли, т.е. к гипотезе, неоднократно высказанной геологами (В.А.Обручев, М.А.Усов, М.М.Тетяев, Е.Е.Милановский).

Приведем некоторые оценки. По нашей модели начальный радиус Земли составлял примерно  $r_0 = 0,55 R_3$ . Отсюда следует, что ускорение силы тяжести  $g_0 \sim \frac{1}{r_0^2}$  (полагая, что масса Земли значительно не изменялась) у "молодой" Земли была примерно в 3,3 раза больше. Давление в центре Земли  $P_0 \sim \rho_2 r_0 g_0$  оказывается примерно в десять раз выше, чем в настоящее время. Давление  $P_0$  уравнивается газокинетическим давлением  $P_0 \sim n_0 k T_0$  или, заменяя  $n_0$  :  $P_0 \sim \frac{\rho_2}{M} k T_0$ . Так как  $r \approx 0,5 R_3$ , то и удельная энергия  $\epsilon_0 = \frac{GM}{r_0}$  будет примерно в два раза больше, чем оцененная нами выше, поэтому, и температура в центре молодой Земли может быть выше (по оценкам,  $T_0 \approx 6 \cdot 10^4$  К). Если допустить, что величина плотности  $\rho_2$  молодой Земли примерно была равна плотности  $\rho_2$  - ядра Земли современной и принять современную температуру вещества G - ядра - около  $1,5 \cdot 10^4$  К, то для выполнения равенства гравитационного давления газокинетическому молодой Земли величина среднего молекулярного веса  $M_0$  ее вещества должна быть несколько ниже чем  $M$  вещества современной Земли:  $M_0 = 6$  против  $M = 17$ .

Принимая во внимание, что основным "строительным материалом" в Солнечной системе является водород, а также то, что Земля и планеты земной группы, захватив водород при своем образовании, удержать его не могут и должны терять его в процессе эволюции, увеличение среднего молекулярного веса вещества планеты представляется вполне возможным. Для того, чтобы  $M$  вещества планеты изменилось от  $M_0 = 6$  до  $M = 17$  (полагая, что она состоит только из водорода и кислорода), планета должна потерять при диссипации водорода примерно 1/16 своей массы.

За время эволюции Земли ее мантия увеличилась практически от нуля до современной величины и составляет более половины массы Земли:  $M_M \approx 0,5 M_3$ . Причем половину массы  $M_M$  составляет кислород, одну четверть - кремний. Масса океанов несколько меньше чем 1/1000 от  $M_M$  составляет весьма незначительную часть от величины потерь водорода на диссипацию, а также незначительную часть кислорода мантии.

Приведенные расчеты показывают, что океаны образовались, по всей видимости, при дегазации ядра Земли и последующей дегазации мантии. Процесс образования океанов скорее всего порожден генерацией мантийного вещества. Логично будет предположить, что наращивание массы океанов в течение эволюции Земли прямо зависело от массы вещества мантии. На основе предлагаемой модели можно считать, что  $10^9$  лет тому назад масса океанов составляла примерно 0.1 от современной (см. рис. 10). Значительное ее увеличение началось примерно 250 млн. лет тому назад, именно в это время начал формироваться Тихий океан. Еще более возростала масса океанов в период около 150 млн. лет тому назад, что соответствует моменту образования Атлантического океана.

Оценим мощность  $W$ , выделяемую при конденсации вещества G-ядра:

$$W = \beta_2 \cdot S_G \cdot U \cdot U_r,$$

где  $S_G$  - площадь поверхности G-ядра,  $U$  - теплота фазового перехода (примем  $U = 10$  кДж/г), величина  $W \approx 10^{15} \cdot U_r$  Дж/с ( $U_r$  в см/год). Эта мощность, согласно нашей модели, расходуется на создание теплового потока Земли  $Q$  ( $Q \approx 10^{13}$  Дж/с) и механическую энергию землетрясений и вулканов  $E$  ( $E$  не превышает  $10^{11}$  Дж/с /46/). Поскольку обычно  $Q > E$ , можно считать, что  $W \approx Q$ . Зная величину теплового потока  $Q$ , можно оценить среднюю скорость  $U_r$  расширения Земли в настоящее время: она оказывается примерно равной  $10^{-2}$  см/год, что в шесть раз меньше средней и на два порядка меньше принятой нами. Следовательно, периоды расширения (усиления тектонической активности) сменяются более "спокойными" периодами, когда расширение Земли практически незаметно. В настоящее время Земля переживает именно такой период.

Таким образом, согласно нашей модели, активная тектоническая "жизнь" планеты порождена разуплотнением вещества, находящегося в момент ее образования в пересжатом "газообразном" состоянии. Время активной тектонической жизни планеты определяется ее массой, теплотой фазового перехода и величиной теплового потока  $Q$ :  $t_A \sim \frac{MG}{Q}$ . Когда величина  $Q$  становится соизмеримой с интенсивностью потока тепла от Солнца, то  $t_A$  можно опреде-

лить следующим образом:

$$t_A \sim \frac{MU}{R^2 A},$$

где  $R$  - расстояние от Солнца,  $A$  - альbedo Бонда. Для планет земной группы величины  $t_A$ , полученные аналогично, примерно равны для Земли и Венеры, для Меркурия она примерно в три раза больше, для Луны и Марса - примерно в десять раз меньше, чем для Земли и Венеры. Значит, по нашей модели, эволюция Луны и Марса давно завершилась; время эволюции Земли и Венеры составляет около  $5 \cdot 10^9$  лет, Меркурия - в три раза больше.

### Ш.4. Планеты

При сравнении величины средних плотностей  $\rho_{пл}$  планет земной группы (см. табл. 2) выявляются их существенные различия. Сделаем допущение, что все эти планеты были образованы аналогично Земле и плотность  $\rho_1 \approx 2,7 + 2,4 v$  ( $v$  - радиус планеты, выраженный в радиусах Земли), плотность  $\rho_2 = \rho_{2\oplus} \sqrt[5]{\frac{M_{пл}}{M_{\oplus}}}$  ( $M_{пл}$  - масса соответствующей планеты,  $\rho_{2\oplus} = 35 \text{ г/см}^3$ ,  $M_{\oplus}$  - масса Земли).

Т а б л и ц а 2

	⊕	♀	♂	♁	☾	♃	♄	♅
$\rho_{пл} \text{ г/см}^3$	5,5	5,2	3,9	5,4	3,3	1,3	0,7	1,6
$\rho_1$	5,1	5,0	3,9	3,6	3,3	-	-	-
$\rho_2$	35	34	24	21	17	91	75	55
$R_G/r_{пл}$	0,2	0,18	0	0,44	0	-	-	-
$R_E/r_{пл}$	0,54	0,55	0,55	0,64	0,58	0,24	0,21	0,3

Оценим (в принятых для Земли обозначениях) отношение радиуса внутреннего ядра  $R_G$  к радиусу планеты:

$$\frac{R_G}{r_{пл}} = \sqrt[3]{\frac{\rho_{пл} - \rho_1}{\rho_2}}$$

и отношение радиуса ядра  $R_E$  к радиусу планеты:

$$\frac{R_E}{r_{пл}} = \sqrt[3]{\frac{\rho_{пл}}{\rho_2}}$$

(см. табл. 2).

Из этих оценок следует, что в ходе эволюции Марс и Луна "отработали" вещество с плотностью  $\rho_2$  ( $\frac{R_G}{r_{пл}} = 0$ ) и закончили свое формирование, Земля и Венера ( $\frac{R_G}{r_{пл}} \approx 0,2$ ) находятся примерно на одном этапе эволюции, на более раннем - Меркурий ( $\frac{R_G}{r_{пл}} = 0,44$ ).

Величина отношения  $R_G/r_{пл}$  позволяет оценить размер "жидкого" внешнего ядра или, согласно нашей модели, "начальный" радиус планеты. Так как сейсмический "разрез" планеты известен только в отношении Земли и Луны, представляется возможность сравнения  $R_E$  из таблицы (для Луны:  $R_E = 0,58 \cdot R_D \approx 1 \cdot 10^3$  км) с экспериментальными полученными значениями. Радиус "жидкого" ядра с характерным сильным затуханием  $S$ -волн по экспериментальным данным /34/ примерно того же порядка:  $R_E \approx (0,75-1) \cdot 10^3$  км.

Таким образом, в предлагаемой модели очень просто объясняется различие плотностей планет земной группы. Что же касается таких планет, как Юпитер, Сатурн и Уран, т.е. планет-гигантов, то они, по всей видимости, представляют собой газообразные тела, более похожие на звезду, чем на твердую планету в нашем обычном представлении. Плотности этих планет очень малы и сравнимы со средней плотностью Солнца ( $\rho_{\odot} = 1,4$  г/см<sup>3</sup>). Плотность  $\rho_1$  для этих планет не имеет смысла. Плотность  $\rho_2$ , оцененная как корень шестой степени из массы планеты, оказывается также весьма близкой к величине максимальной плотности Солнца (160 г/см<sup>3</sup>). "Начальный" радиус этих планет составляет примерно 0,2-0,3 от  $r_{пл}$  (см. табл. 2) и также соответствует аналогичной величине для Солнца (0,2-0,3). Для иллюстрации приведем радиальное распределение плотности Солнца (рис. II). На нем видно, что основная масса вещества Солнца сосредоточена в объеме радиусом 0,2-0,3  $R_{\odot}$ .

По нашей модели, температура  $T$  в центре планеты  $T \sim \sqrt{M_{пл}}$  и, значит, (как следует из оценок, приведенных в предыдущей главе) для Юпитера  $T_4 = 0,5 \cdot 10^6$  К. При такой температуре веществ-

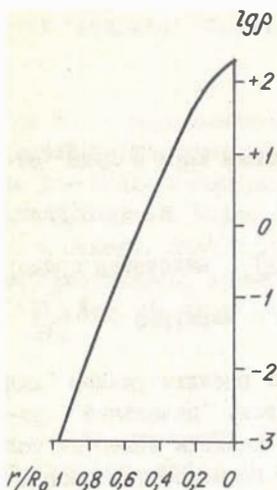


Рис. II. Распределение плотности  $\rho$  вещества Солнца по радиусу  $r/R_0$

во планеты — водород находится в диссоциированном и частично ионизованном состоянии, однако его температуры недостаточно для протекания реакции термоядерного синтеза:  $2\text{H} + 2\text{H} = \text{He} + 25\text{MэВ}$ . Наиболее вероятным представляется следующее протекание реакции:  $\text{H} + \text{H} = \text{H}_2 + 5\text{эВ}$ , энергетический выход которой примерно в  $10^6$  раз ниже, чем при термоядерной реакции. В таком случае планеты-гиганты должны быть активными тепловыми излучателями.

Заметим, что с помощью космических аппаратов типа "Пионер" и "Вояджер" при их облете Юпитера и Сатурна обнаружены значительные тепловые потоки, исходящие из глубин этих планет, а также отмечена высокая симметрия гравитационного поля Юпитера, что прямо соответствует предположению о газообразном состоянии планеты.

Итак, основной смысл предлагаемой модели состоит в том, что вещество планеты (в том числе и нашей Земли) при ее образовании в результате гравитационного сжатия уплотнялось и нагревалось до очень высоких температур. В процессе эволюции планета расходует запасенную таким образом энергию посредством обратного превращения сжатого и нагретого вещества в обычное состояние. Эта энергия выделяется как в виде тепловой, так и в виде механической энергии. Процесс обратного превращения вещества сопровождается уменьшением его плотности — планета расширяется.

Предлагаемая модель ядра Земли позволяет интерпретировать, с одной стороны, "раздвижение" материков и образование океанов, а с другой — интерпретировать данные по поведению скоростей сейсмических волн в области ядра Земли.

Состояние вещества, сжатого внешними силами и нагретого до температуры выше критической, согласно [6], попадает в неисследованную область фазовой диаграммы, в которой "... реализуются сложные физические процессы — ... переход металл — диэлектрик и

высокотемпературное испарение в газовую или плазменную фазу ... /там же, с. 743/.

Состояние вещества с повышением давления, в пределе, стремится к состоянию электронного газа Томаса-Ферми.

Вещество в таком состоянии встречается только в экспериментах, в которых оказывается возможным ввести в него энергию порядка теплоты испарения. Это, без исключения, импульсные процессы с характерным временем порядка  $10^{-8}$ - $10^{-6}$  с, такие как взрыв, высокоскоростной удар и т.п. Вещество при этом претерпевает фазовый переход. Природа этого перехода до конца не выявлена, но так как вещество превращается из конденсированного состояния в газообразное (или мелкодисперсное), одно из принятых названий его - волна испарения /9/. Если это "испарение", то обратный процесс - возвращение вещества в исходное состояние, естественно называть "конденсацией". Именно в этом плане мы и говорим о конденсации. Очевидно, что первый механизм - "испарение" происходит с поглощением энергии, а второй, обратный первому - "конденсация", с ее выделением.

## Глава IV. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Любая модель внутреннего устройства Земли непременно должна включать ряд хорошо известных ее особенностей, таких как источник тепла, источник механической энергии и т.д. Наличие магнитного поля, его изменение со временем, обращение полярности, корреляция со скоростью вращения, с изменением уровня тектонической активности и т.п. – все это должно находить естественное объяснение в рамках модели внутреннего устройства Земли и других планет.

Как явствует из предыдущей главы, нет необходимости считать, что в ядре Земли должна происходить упорядоченная конвекция его вещества. В таком случае наиболее разработанная в настоящее время модель магнитного поля Земли (МПЗ), основанная на использовании механизма магнитогидродинамического динамо не может быть нами принята и тогда следует найти причину появления МПЗ непосредственно в нашей модели ядра Земли.

### IV.I. Общее представление и оценки

Рассмотрим процессы, происходящие (согласно нашей модели) в слое  $F$  – пограничном слое между "твердым" внутренним ядром и наружным – "жидким".

По уравнению Клапейрона-Клаузиуса, распределение температуры как функция давления:

$$\frac{dT}{dp} = \frac{V_n - V_{ж}}{U} \cdot T ,$$

где  $V_n$ ,  $V_{ж}$  – удельные объемы пара и жидкости,  $U$  – теплота фазового перехода. Обычно  $V_n > V_{ж}$ ,  $U > 0$  и  $\frac{dT}{dp} > 0$ , однако в том случае, когда идет процесс разуплотнения пересжатого вещества и конденсация его в вещество с обычной плотностью, должно быть:

$V_n < V_{ж}$  и  $\frac{dT}{dp} < 0$  (инверсия температуры). Известно также, что в области  $T \approx T_{кр}$ ,  $U \rightarrow 0$ , а это означает возможность сколь угодно больших величин  $\frac{dT}{dp}$

Температура вещества порядка  $T \approx (1-5) \cdot 10^4$  К должна приводить к его термической ионизации. Оценим степень ионизации по формуле Саха для константы ионизационного равновесия  $K_p$  :

$$K_p = \frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} P = \left( \frac{2\pi m}{h^2} \right)^{3/2} (kT)^{5/2} \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right)$$

где  $P$  - давление "газа", равно давлению в центре Земли ( $3,5 \cdot 10^6$  атм),  $\alpha$  - степень ионизации ( $\alpha \ll 1$ ),  $\varphi$  - потенциал ионизации ( $\approx 12$  эВ). Степень ионизации, рассчитанная по этой формуле, оказывается: для G-ядра ( $kT \approx 5$  эВ),  $\alpha \approx 1\%$ , для F-слоя ( $kT \approx 1$  эВ),  $\alpha \approx 0,01\%$ . Плотности электрических зарядов соответственно,  $n_e \approx 10^{20}$  I/cm<sup>3</sup> (для G-ядра) и  $10^{18}$  (для F-слоя).

В F-слое за счет температурного градиента и различной подвижности зарядов возможно их разделение, т.е. образование двойного электрического слоя.

Из уравнения Гиббса-Гельмгольца для изобарно-изотермического процесса, ЭДС образовавшегося слоя равна

$$\mathcal{E} = e_p + T \left( \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial T} \right)_p$$

где  $\mathcal{E}$  - ЭДС,  $e_p$  - тепловой эффект, отнесенный к единице перенесенного заряда. Производная  $dT/dp$  в зависимости от условий конденсации может менять знак, его может менять и  $\mathcal{E}$ .

Возможный механизм, приводящий к разделению зарядов при их движении по F-слою, - термодиффузия. При термодиффузии тяжелые частицы (в нашем случае положительные ионы) должны двигаться по потоку тепла, легкие (электроны, либо отрицательные ионы) - против. Оценим эффект термодиффузионного разделения зарядов на примере:  $O^-$  и  $Si^+$ . Термодиффузионная постоянная  $1/15 \cdot \alpha_T \approx 0,2$ .

По определению,  $\alpha_T = \frac{kT}{n_{10} \cdot n_{20}}$ , где  $kT$  - термодиффузионное отношение,  $n_{10} = \frac{n_1}{n_{10} + n_{20}}$ ,  $n_{20} = \frac{n_2}{n_{10} + n_{20}}$  - относительные концентрации компонент системы. Положим (для простоты) двухкомпонентную смесь  $n_{10} = n_{20} = 0,5$ , тогда  $kT = 0,05$ .

Величина термодиффузионного разделения:

$$n_{10} - n_{10} = kT \left( e_n \frac{T}{T} \right),$$

где  $\frac{T'-T}{\Delta R}$  - градиент температуры. Для разделения зарядов (атомов, молекул) порядка  $10^{-3}$  (0,1 %),  $\ln(T'/T) = 0,02$ , или  $T'/T = 1,02$ , требуется изменение температуры примерно на 2%. Положим, что на ширине слоя F (100 км) температура изменяется на  $(3-5) \cdot 10^3$  К, тогда получим отношение  $\Delta T/\Delta R = (3-5) \cdot 10^{-4}$  К/см.

Отсюда следует, что при начальной плотности зарядов в F-слое  $n_e \approx 10^{18}$  I/см<sup>3</sup>, разделение зарядов с концентрацией  $n_e \approx 10^{15}$  I/см<sup>3</sup> возможно на длине  $\approx 5$  км. Очевидно, что разделение зарядов с меньшей чем  $10^{15}$  I/см<sup>3</sup> концентрацией, возможно на значительно больших длинах (100 км,  $n_e \approx 10^{14}$  I/см<sup>3</sup>).

Предположим, что в настоящее время в результате процессов разуплотнения - конденсации температура слоя E (на границе со слоем F) оказалась выше, чем  $T_G$ . Поток тепла при этом будет направлен в противоположную массопереносу сторону. Такое состояние должно сопровождаться постепенным уменьшением скорости конденсации, уменьшением скорости разуплотнения. Образованный в результате разделения двойной электрический слой будет иметь отрицательный заряд на внешнем радиусе, положительный - на внутреннем. При суточном вращении Земли это должно вести к образованию "замкнутых электрических токов", которые в свою очередь, являются причиной появления МПЗ.

Подобная идея была впервые высказана в начале нашего века Сезерлендом. Признания она, однако, не получила, поскольку им не было разработано сколько-нибудь убедительной гипотезы разделения зарядов, а также потому, что эта идея казалась противоречащей принципу относительности, "ибо наблюдатель на поверхности Земли, вращаясь вместе с зарядами, остается неподвижным относительно них" /44, с. 139/.

Оценим параметры двойного электрического слоя, который, вращаясь, обеспечивал бы наблюдаемую величину дипольной компоненты МПЗ. Примем величину дипольной компоненты МПЗ  $H \approx 0,5 \approx 40 \mu_n = 4 \cdot 10^3$  А/см, частоту вращения Земли  $\omega \approx 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>. По нашей модели, МПЗ генерируется на радиусе  $R_G = 0,2 R_3$ , причем, поскольку дипольная компонента уменьшается примерно как  $1/r^3$ , исходная величина поля, образуемая вращением двойного слоя, должна быть примерно в 125 раз больше ( $H_0 = 125, H = 5 \cdot 10^5$  А/см).

Магнитное поле вращающегося двойного слоя можно представить как разность двух полей: одного, образуемого "током"  $I_F$  с радиусом  $R_F$ , и другого  $-I_G$ , с радиусом  $R_G$ :  $H_0 = \frac{I_F}{R_F} - \frac{I_G}{R_G}$ ,

где  $I_F = j_F \cdot S_F$ ,  $j_F$  - плотность "тока",  $S_F$  - его сечение. Подставляя их значения:  $j_F = e n_e \omega R_F$ ,  $S_F \approx \pi R_F \cdot \Delta R$  и аналогичные для  $j_G$  и  $S_G$ , получаем:  $H_0 \approx \pi e n_e \omega \Delta R^2$ ,

( $\Delta R = R_F - R_G$ ), полагая, что  $n_e$  - концентрация разделенных электрических зарядов, примерно равномерна по  $\Delta R$ .

Подставляя  $\Delta R \approx 100 \text{ км} = 10^7 \text{ см}$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ К}$ ,  $\omega = 10^{-4} \text{ с}^{-1}$  и полученное нами значение  $H_0 = 5 \cdot 10^5 \text{ А/см}$ , определим требуемую величину  $n_e$ . Она оказывается порядка  $n_e \approx 10^{14} \text{ 1/см}^3$ , что, как мы показали выше, легко порождается действием механизма механического термодиффузионного разделения зарядов.

#### IV.2. Магнитные аномалии Земли и положение магнитных полюсов

Предлагая тот или иной механизм образования МПЗ, следует найти объяснение по меньшей мере четырем его особенностям /33/. К ним относятся: 1) связь вековых вариаций МПЗ с суточным вращением Земли; 2) инверсии МПЗ; 3) уменьшение его дипольной составляющей; 4) западный дрейф недипольной составляющей.

Первая особенность МПЗ объясняется просто:  $H_0 \sim \omega$ . Объяснение в нашей модели второй вытекает из наших представлений о процессах конденсации вещества в G-ядре и связанных с ним механизмов тепло- и массопереноса в F-слое. Отсюда следует, что полярность двойного электрического слоя (а значит и инверсии МПЗ) может (и даже обязана) периодически изменяться. Третья особенность также объясняется из предлагаемой модели МПЗ: его инверсия сопровождается постепенным уменьшением величины  $n_e$ , что приводит к уменьшению дипольной компоненты. Остается найти объяснение четвертой особенности МПЗ - западного дрейфа недипольной составляющей. Однако прежде остановимся на возможной причине появления недипольной составляющей МПЗ и, как следствие этого - несовпадение географических и магнитных полюсов.

Магнитные полюсы Земли – точки на Земной поверхности, где магнитная стрелка располагается по вертикали, а горизонтальная составляющая магнитного поля Земли равна нулю. Координаты полюсов на 1975 г.: 75°53 с.ш., 100°23 з.д. и 66°06 ю.ш., 139°36 в.д. Как сообщается в работе /48/, Северный магнитный полюс (СМП) перемещается с течением времени по прямой, соединяющей две зоны с аномально высоким значением МПЗ. Одна зона находится в Восточной Сибири, другая – в Канаде. Южный магнитный полюс (ЮМП) расположен на побережье Антарктиды в вершине воображаемого треугольника, двумя другими вершинами которого являются два магнитных "фокуса" – Южноафриканский и Южноамериканский. Примерно в центре этого треугольника находится географический южный полюс (рис. 12, 13).

Насколько нам известно, наиболее популярная и признанная в настоящее время модель МПЗ, основанная на использовании механизма магнитного динамо, не объясняет отмеченных особенностей расположения магнитных полюсов /33, 44/.

Вращение двойного электрического слоя обеспечивает образование дипольной компоненты МПЗ (рис. 14, а). При этом очевидно, что магнитные полюса должны совпадать с географическими. Нарушение этого совпадения, согласно нашей модели, вызвано магнитными аномалиями, возникающими в некоторых точках на поверхности G-ядра. Аномалии возникают в процессе неравномерной конденсации вещества G-ядра. В тех местах на поверхности G-ядра, в которых в течение эволюции Земли наиболее интенсивно происходило выделение вещества (за счет конденсации и разуплотнения), возможно образование "впадин". Там, где эти процессы ранее происходили менее интенсивно, возможно образование "выступов".

На поверхности Земли, в районах, соответствующих "впадинам" на внутреннем G-ядре, должны оставаться древние поднятия. Эти районы в настоящее время тектонически неактивны. В тех же районах на поверхности Земли, которые соответствуют "выступам", должны наблюдаться интенсивные тектонические процессы.

Изменение сферической конфигурации поверхности внутреннего G-ядра Земли, вызванное проявлением процессов конденсации вещества, будет приводить к пространственному перераспределению положения двойного электрического слоя, что, в свою очередь, вызовет появление недипольной компоненты МПЗ. Вектор магнитного

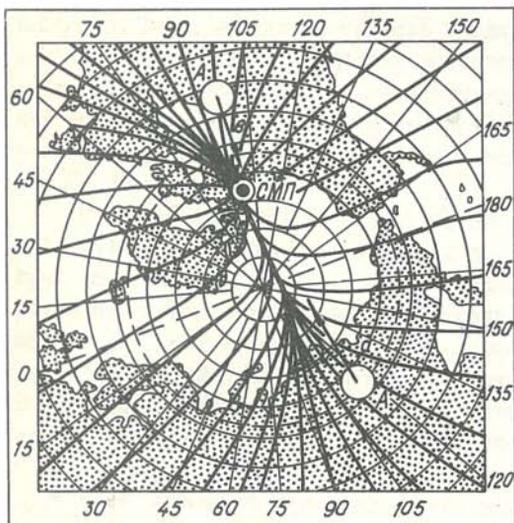


Рис.12. Перемещение северного магнитного полюса (СМП) между двумя аномалиями (А)  
/48/

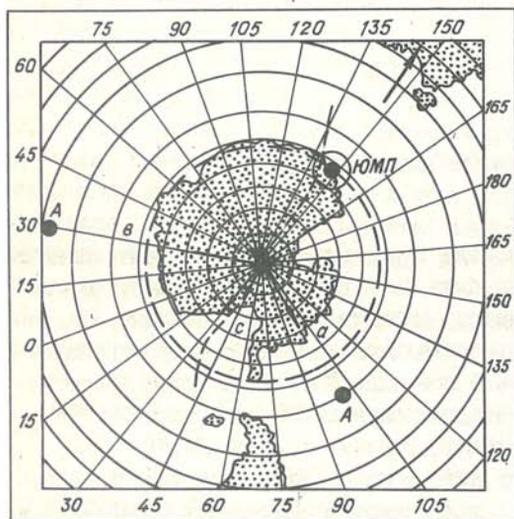


Рис.13. Расположение южного магнитного полюса (ЮМП) относительно двух аномалий (фокусов) А.

поля, соответствующий аномалии типа "впадина", направлен к оси вращения Земли, что приведет для Северного полушария к увеличению амплитуды МПЗ (см. рис. 14,б). При этом окажется, что в той

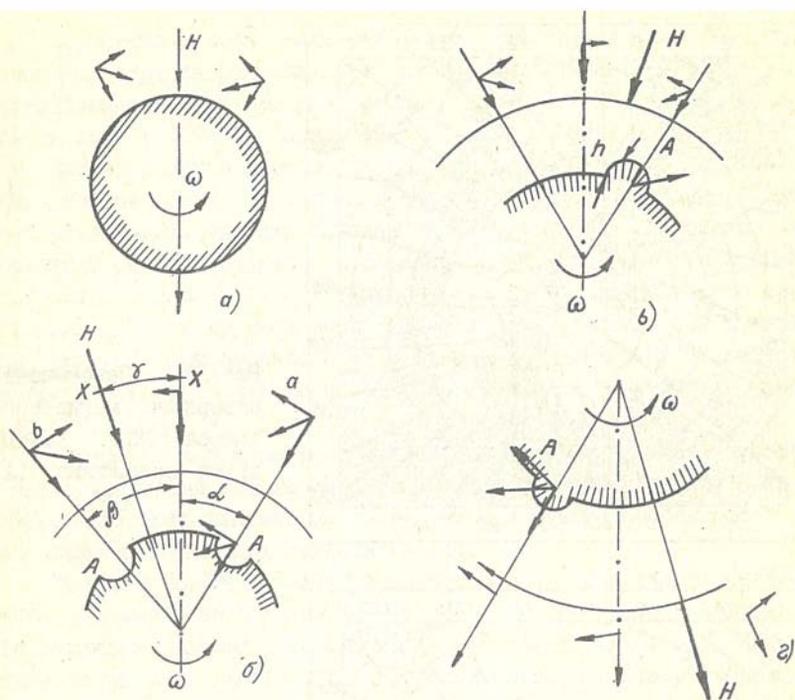


Рис. I4. Положение магнитных полюсов.

точке на поверхности Земли, где горизонтальная компонента дипольной составляющей МПЗ должна была быть равна нулю, она будет неравна ему из-за влияния вектора магнитного поля аномалии. Эта компонента уравнивается с горизонтальной компонентой противоположного знака уже в другой точке поверхности Земли, где и будет наблюдаться только вертикальная компонента МПЗ. Эта точка и есть местоположение магнитного полюса Земли (см. рис. I4,б).

Аналогично предыдущему вектор магнитного поля, соответствующий аномалии типа "выступ" для Северного полушария приведет к ослаблению дипольной компоненты МПЗ (рис. I4,в), а для Южного полушария - к ее усилению (рис. I4,г). И в том, и в другом случае наличие магнитных аномалий, связанных с перераспределением электрических зарядов на поверхности  $G$ -ядра, приводит к изменению

местоположения магнитных полюсов Земли. Этот эффект должен проявляться тем больше, чем ближе расположена аномалия к географическому полюсу Земли. В течение эволюции Земли возможно изменение интенсивности аномалий и их местоположения, что, в свою очередь, должно приводить к изменению местоположения магнитных полюсов Земли.

Обратим внимание на известный лабораторный эксперимент А.А.Эйхенвальда, который обнаружил появление магнитного поля, направленного вдоль по радиусу вращающегося диэлектрического диска, на котором были индуцированы электрические заряды /38/. Величина магнитного поля в этих опытах была пропорциональна скорости вращения диска, его радиусу и концентрации индуцированных зарядов. Этот эксперимент может служить доказательством факта образования магнитного поля при вращении электрических зарядов.

Оценим, насколько реальна предложенная модель. Как отмечалось выше, Северный магнитный полюс находится на прямой, соединяющей две зоны с аномально высоким значением амплитуды МПЗ. Их координаты: 67° с.ш., 115° в.д. в Сибири и 58° с.ш., 97° з.д. в Канаде (см. рис. 12).

Будем считать, что на поверхности G-ядра имеются две аномалии типа "впадин". Подтверждением этому может служить тот факт, что на поверхности Земли в соответствующих районах имеются очень древние, докембрийские поднятия /48/. Причина их образования, согласно нашей модели, состоит в том, что именно в этих местах произошла интенсивная "отработка" (конденсация и разуплотнение) вещества G-ядра, что и привело к образованию "впадин" на его поверхности.

Обозначим амплитуду горизонтальной составляющей вектора МПЗ в районе Сибирской аномалии через "а" ( $a \approx 0,1 \text{ Э}$ ), таким же образом, амплитуду в Канаде через  $\beta$  ( $\beta \approx 0,008 \text{ Э}$ ) (см. рис.14,6). Угол между вектором "а" и горизонталью обозначим  $\alpha$  ( $\alpha = 90^\circ - 67^\circ \text{ с.ш.} = 23^\circ$ ), аналогично, угол между вектором "б" и горизонталью -  $\beta$  ( $\beta = 90^\circ - 58^\circ \text{ с.ш.} = 32^\circ$ ). Определим угол  $\gamma$ , на который повернут относительно вертикальной оси (оси вращения Земли) вектор МПЗ:

$$\gamma = 90^\circ - \alpha - \arctg \left[ \frac{\beta \sin(\alpha + \beta)}{a - \beta \cos(\alpha + \beta)} \right] \approx 15^\circ,$$

что соответствует реальной величине этого угла ( $90^\circ - 75^\circ 53 \text{ с.ш.}$ ).

Это обстоятельство в какой-то мере может служить подтверждением реальности предлагаемой модели.

Южный магнитный полюс, так же как и Северный, смещен в сторону от географического. Возможная причина этого заключается в том, что на поверхности  $G$ -ядра также имеются две аномалии. Их проявление – магнитные аномалии ("фокусы" /44/) – Южноамериканская ( $60^\circ$  в.ш.,  $100^\circ$  з.д.) и Южноафриканская ( $40^\circ$  в.ш.,  $30^\circ$  в.д.). Угол: аномалия – географический полюс – аномалия, составляет  $130^\circ$ , амплитуда горизонтальной составляющей для Южноамериканской аномалии  $\alpha = 0,22$  Э (см. рис. 13), для Южноафриканской –  $\beta = 0,15$  Э. Результирующий вектор горизонтальной компоненты ( $c \approx 0,17$  Э) направлен примерно под углом  $30^\circ$  з.д. и соответствует линии нулевого магнитного склонения. Вектор горизонтальной компоненты МПЗ с амплитудой  $0,17$  Э на  $\alpha = 150^\circ$  в.д. находится примерно на  $45^\circ$  в.ш. Отсюда следует, что горизонтальная компонента МПЗ в районе Южного полюса равна нулю примерно на  $67^\circ 30'$  в.ш., что так же, как и в отношении Северного магнитного полюса, неплохо соответствует реальному положению Южного магнитного полюса.

Известно, что амплитуда постоянного МПЗ медленно меняется со временем (так называемый вековой ход МПЗ), причем в некоторых районах Земли она увеличивается, в других – уменьшается. В районе Восточно-Сибирской аномалии амплитуда МПЗ возрастала со скоростью порядка  $+50$   $\gamma$ /год, в районе Канадской аномалии уменьшалась со скоростью около  $10$   $\gamma$ /год. Для горизонтальных компонент МПЗ направление его хода совпадает, поэтому суммарная скорость изменения относительно этих двух точек  $\approx 60$   $\gamma$ /год. Угол: Сибирская аномалия – центр Земли – Канадская аномалия составляет  $23^\circ + 32^\circ = 55^\circ$ . Этому углу соответствует суммарная амплитуда горизонтальных компонент МПЗ:  $0,1$  Э +  $0,08$  Э =  $0,18$  Э =  $1,8 \cdot 10^4$   $\gamma$ . Если пересчитать величину векового хода ( $60$   $\gamma$ /год) в градусах:

$\frac{60 \cdot 55}{1,8 \cdot 10^4} = 0,18^\circ$   $\gamma$  /год, то получим фиксируемую величину западного дрейфа СМП.

Для ЮМП различная скорость увеличения амплитуды МПЗ (вертикальной компоненты) Южноафриканской ( $+130$   $\gamma$ /год) и Южноамериканской ( $+160$   $\gamma$ /год) аномалий также (аналогично предыдущему) должна приводить к его западному дрейфу – при условии, что горизон-

тальные компоненты в этих точках изменяются (увеличиваются) соответственно увеличению вертикальных компонент.

### IV.3. Корреляция магнитных аномалий с тепловыми и гравитационными

Оценим амплитуду аномалии МПЗ. Она, как следует из предыдущих расчетов, должна быть примерно равна амплитуде самого МПЗ. Дипольная компонента МПЗ определяется (по нашей модели) суточным вращением Земли (с частотой  $\omega$ ) разделенных на расстояние  $\Delta R$  электрических зарядов плотностью  $n_e$ :  $H = \pi \cdot e \cdot n_e \cdot \omega \Delta R^2$  ( $e$  - заряд электрона,  $\Delta R = R_F - R_G$ ). Оценивая аналогичным образом величину поля аномалии  $\Delta H$ , получаем зависимость  $\Delta H \sim h^2$ . Отсюда следует, что  $\frac{\Delta H}{H} \approx \left(\frac{h}{\Delta R}\right)^2$ , где  $h$  - характерный размер аномалии (см. рис. I4) для  $h = 10-100$  км, что составляет примерно  $(0,1-1) \Delta R$ ,  $\frac{\Delta H}{H} = (10^{-2}-1)$ .

Согласно нашей модели ядра Земли и его МПЗ, плотность  $G$ -ядра значительно выше, чем других слоев Земли ( $\rho_2 = 35$  г/см<sup>3</sup>). В связи с этим появление выступа (или впадины) на поверхности  $G$ -ядра должно приводить к появлению гравитационной аномалии.

Ускорение силы тяжести  $g = \frac{GM_3}{R_3^2}$  ( $G$  - гравитационная постоянная,  $M_3$  - масса Земли,  $R_3$  - ее радиус). Гравитационная аномалия  $\Delta g$ , вызванная наличием в  $G$ -ядре выступа, может быть оценена следующим образом:  $\Delta g = \frac{GM_A}{(R_3 - R_G)^2}$ .

Отсюда следует, что  $\frac{\Delta g}{g} \approx \frac{M_A}{M_3}$  причем, так как  $M_A \sim \rho_2$  а  $M_3 \sim \rho_3$  (плотность Земли),  $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\rho_2}{\rho_3} \left(\frac{h}{R_3}\right)^3$  для  $h = 10-100$  км,  $\Delta g = 0,1-100$  мГал.

Величина теплового потока на поверхности Земли:  $Q \sim \frac{M_G \cdot U}{S_3}$  где  $M_G$  - масса  $G$ -ядра,  $S_3$  - площадь поверхности Земли,  $U$  - теплота фазового перехода при конденсации вещества  $G$ -ядра. Величина аномалии теплового потока, вызванная наличием дополнитель-

ной массы  $M_A$ , рассчитывается аналогично предыдущему

$$\Delta Q \sim \frac{M_A \cdot U}{S_A}. \quad \text{Отсюда } \frac{\Delta Q}{Q} \approx \frac{h}{R_G}, \quad \text{или для } h = 10-100 \text{ км,}$$
$$\frac{\Delta Q}{Q} = (10^{-2}-10^{-1}).$$

Заметим, что величины  $\Delta H, \Delta g, \Delta Q$ , полученные для аномалии типа "выступ" и имеющие положительное значение по амплитуде относительно некоторого среднего, могут быть использованы и для оденок аномалий типа "впадина".

Источник аномалий находится на большой глубине ( $\approx 5000$  км). В связи с этим на поверхности Земли подобные аномалии должны иметь линейный размер порядка  $\sim 2h \sqrt{R_G}$  и при  $h = 10-100$  км это дает величины 100-1000 км.

Предлагаемая модель МПЗ, образования и природы аномалий, их влияния на МПЗ и положение магнитных полюсов, корреляции аномалий МПЗ, теплового потока и гравитационных носит качественный характер, однако она позволяет интерпретировать известные экспериментальные факты, не находящие объяснения ранее. В качестве подтверждения реальности рассмотренных моделей, приведем результаты некоторых исследований аномалий: магнитных, гравитационных, тепловых. В /4, 5/ показано, что положительные гравитационные аномалии образуют две зоны. Одна из них практически совпадает с тихоокеанским подвижным поясом, включая и юг Южноамериканского континента. Вторая — захватывает Северо-Восточную Атлантику, Западную Европу, Юг Африки и простирается в Восточную Антарктиду.

Отрицательные гравитационные аномалии захватывают: одна — северо-восток Северной Америки, другая — районы Западно-Сибирской низменности.

В работе /5/ отмечена четкая, однозначная корреляция между возрастанием величины теплового потока и амплитудой положительных гравитационных аномалий для системы тихоокеанских островных дуг.

В /43/ отмечается связь между "рельефом" геоида и величиной МПЗ: Восточно-Сибирская и Бразильская магнитные аномалии находятся во "впадинах" геоида, т.е. в районах, тектонически неактивных, установлена корреляция между повышением геоида, связанным с зонами современного вулканизма, и величиной МПЗ.

Приведенные примеры свидетельствуют в пользу предлагаемой модели ядра Земли и его магнитного поля.

#### IV.4. Магнитное поле планет

Оценим величину магнитного поля планет земной группы. Напомним, что в нашей модели она определяется скоростью вращения планеты, концентрацией частиц двойного электрического слоя и его размером  $\Delta R$ . На Луне и Марсе, где процессы конденсации прекратились, нет двойного электрического слоя, нет и магнитного поля. Однако оно должно было быть на этих планетах в более ранние периоды их эволюции, а следы его должны сохраниться в магнитных породах до настоящего времени. На Меркурии и Венере процессы конденсации и образования двойного слоя происходят и в наше время, следовательно, у этих планет должно быть и магнитное поле. Для простоты положим, что на этих планетах величины  $n_e$  и  $\Delta R$  равны земным, тогда их магнитное поле будет связано с величиной  $M_{ПЗ} N_{\oplus}$  только через частоту вращения планеты  $\omega$  (конечно речь идет о порядке величин). При этих условиях магнитное поле Венеры ( $\omega_{\text{В}} \approx 4 \cdot 10^{-3} \omega_{\oplus}$ ),  $N_{\text{В}} \approx 4 \cdot 10^{-3} N_{\oplus}$ , а Меркурия ( $\omega_{\text{М}} \approx 1,7 \cdot 10^{-2} \omega_{\oplus}$ ),  $N_{\text{М}} \approx 1,7 \cdot 10^{-2} N_{\oplus}$

Посмотрим, каковы же магнитные поля планет в действительности /28/. Относительно магнитного поля Луны: у автора работы /28, с. 335/ вызывает удивление, что породы на поверхности Луны обнаруживают сильную реликтовую намагниченность, показывая, что они затвердели в присутствии статического (неколебательного) поля напряженностью порядка 1 Гс. ... Это явление до сих пор не поддается объяснению...".

Магнитное поле Марса было обнаружено при полете космических аппаратов "Марс-2" и "Марс-3" в 1972 г. и "Марс-5" в 1974 г. По предварительным оценкам величина поля на экваторе составляет около  $0,6 \cdot 10^{-3}$  Гс. "С другой стороны, Рассел пересмотрел данные станций "Марс-3" и "Марс-5" и пришел к выводу, что наблюдаемые поля - это не более чем межпланетное поле, сжатое при обтекании планеты. Поэтому вопрос о существовании собственного поля Марса остается в настоящее время открытым" /там же, с. 338/.

Современные представления о природе магнитного поля "заставляют предполагать, что в недрах Меркурия вряд ли действует дина-

мо /там же, с. 337/. Немалое удивление вызвало поэтому обнаружение магнитного поля "Маринером-10", который прошел вблизи планеты в 1974 г. и еще раз в 1975 г. Снятые магнитометром аппарата кривые объясняются лучше всего, если значение магнитного момента равно  $5,2 \cdot 10^{22}$  Гс.см<sup>3</sup>. Полярность такая же, как у Земли, дипольный момент направлен на юг. Ось диполя наклонена к оси вращения примерно на  $12^\circ$ . Поле на экваторе планеты равно  $4 \cdot 10^{-3}$  Гс...". Таким образом измеренное поле Меркурия составляет примерно:  $H_{\text{М}} \approx 10^{-2}$

Космические аппараты "Маринер-2" в 1962 г., "Венера-4" и "Маринер-5" в 1967 г., "Маринер-10" в 1974 г. и "Венера-9", "Венера-10" в 1975 и 1976 гг. не зарегистрировали следов собственного магнитного поля Венеры /28/. Однако эти аппараты обнаружили в солнечном ветре вблизи Венеры ударную волну, форма которой может быть объяснена столкновением солнечного ветра с ионосферой Венеры. Этот факт Рассел /там же, с.336/ объясняет наличием у Венеры дипольного магнитного поля с магнитным моментом около  $1,4 \cdot 10^{23}$  Гс.см<sup>3</sup>, так что на экваторе планеты поле равно  $6 \cdot 10^{-4}$  Гс и вполне достаточно, чтобы оттолкнуть солнечный ветер от верхних слоев атмосферы. Магнитное поле Венеры не превышает  $2 \cdot 10^{-3}$  Гс.

Полученные благодаря серии запусков космических аппаратов экспериментальные результаты по магнитным полям планет земной группы соответствуют (порядком величины) нашим оценкам. Этот факт также может служить подтверждением реальности предлагаемой модели МПЗ. В заключение отметим основные моменты, связанные с предлагаемой моделью МПЗ.

Образование магнитного поля на планете должно объясняться общей моделью ее строения. Оно должно иметь непосредственную связь с внутренним источником энергии, связь с механизмами, вызывающими тектонические явления на планете: образование гор, впадин, разломов, движение материков и т.п. Из модели МПЗ должно следовать объяснение таким экспериментальным фактам, как наличие магнитных аномалий, корреляция между магнитными, гравитационными и тепловыми аномалиями, дрейф полюсов, инверсия поля, магнитное поле других планет и т.п.

Если рассмотреть с этих позиций принятую в настоящее время модель МПЗ, основанную на механизме магнитного динамо, легко убедиться в том, что она не дает объяснения большинству из этих особенностей.

## Глава У. АСПЕКТЫ ТЕКТониКИ

Схема протекания процессов на границе внутреннего и внешнего ядра, взятая за основу в нашей модели, объясняет периодическое появление давления, направленного против сил гравитационного сжатия планеты: когда оно больше этих сил, происходит расширение Земли, когда меньше – сжатие.

Период расширения Земли – это период проявления ее тектонической активности. Именно в течение этого времени происходит разрастание океанического дна, раздвижение континентов, образование поднятий и гор. В течение этого периода, по нашей модели, МПЗ имеет полярность, обратную современной. Сжатие Земли, следующее за расширением, приводит к появлению геосинклиналей, образованию складок, надвигов и т.п. Полярность МПЗ – современная.

Замечено, если МПЗ той или иной полярности стабильно и не меняется в течение длительного периода (несколько миллионов лет), то стабильны и тектонические процессы на Земле. Если же МПЗ меняется сравнительно часто, то именно тогда на Земле происходят процессы, связанные с максимальной тектоно-магматической активностью /8/.

Обозначим время прямой полярности МПЗ –  $t_1$ , обратной –  $t_2$ , тогда: если  $t_1, t_2$  велики ( $> 10^6$  лет), то Земля развивается относительно спокойно, если  $t_1$  и  $t_2$  малы ( $< 10^6$  лет) – на Земле наступают тектонически активные периоды, причем чем меньше  $t_1$  и  $t_2$ , тем активнее Земля.

В этой связи, прежде чем рассматривать особенности тектоники в модели расширяющейся Земли, необходимо оценить, как будет выглядеть этот экспериментальный факт в рамках нашей модели.

### У.1. Пульсирующий характер расширения Земли

Процесс конденсации вещества приводит к выделению тепла на холодной стенке. Она нагревается, что ведет к уменьшению интенсивности конденсации или к ее прекращению. Стенка за счет теплопроводности материала остывает, вновь создавая условия для начала конденсации. Таким образом, возможен пульсирующий характер конденсации или, применительно к нашей модели, пульсирующий характер расширения Земли.

Аналогично тому как в электротехнике характерное время процесса релаксации схемы определяется произведением электрического сопротивления на емкость, в нашем случае время процесса охлаждения "стенки" за счет теплоотвода  $t_1$  будет определяться отношением теплоемкости вещества  $C_p$  к его теплопроводности  $\lambda$  :

$$t_1 = \frac{C_p \cdot \rho \cdot \delta^2}{\lambda}, \quad \text{где } \rho - \text{изменение плотности вещества в}$$

F-слое относительно G-ядра ( $\rho \approx 10 \text{ г/см}^3$ ),  $\delta$  - характерный размер толщины "стенки" (эта формула получена при решении уравнения теплопроводности Фурье).

Заметим, что никакой "стенки" в нашей модели нет и быть не может, эта аналогия приведена лишь затем, чтобы показать, что процесс конденсации вещества G-ядра может происходить с флуктуацией его интенсивности во времени. Поэтому "стенка" не более чем некоторый характерный размер - толщина слоя, в объеме которого реализуется фазовый переход - конденсация. Поскольку толщина F-слоя ( $\Delta R$ ) равна приблизительно 100 км, то величина  $\delta$  должна быть меньше  $\Delta R$ , но примерно того же порядка (примем  $\delta \approx 10 \text{ км} = 10^6 \text{ см}$ ).

Определим величину  $t_1$ . По палеомагнитным данным для современной магнитной эпохи Брюнеса, характеризуемой в целом прямой (современной) полярностью МПЗ, это время порядка 100 тыс. лет ( $\approx 3 \cdot 10^{12} \text{ с}$ ). В нашей модели это и есть период, в течение которого Земля не расширяется (охлаждается "стенка"), т.е. величина примерно того же порядка.

$$\text{Оценим, далее, величину } \frac{C_p}{\lambda} = \frac{t_1}{\rho \delta^2} = 0,3 \left( \frac{\text{см} \cdot \text{с}}{\text{г}} \right). \quad \text{Известно}$$

но (из справочных данных), что для большинства конденсированных тел величина  $\frac{C_p}{\lambda}$  (в приведенной размерности) изменяется в пределах от 0,03 (металлы) до 30 (диэлектрики). Таким образом, полученная нами оценка величины  $\frac{C_p}{\lambda}$  укладывается в интервал "разумных" значений этого отношения.

Время  $t_2$  определяется скоростью процесса конденсации вещества G-ядра - K. В принципе  $t_2 \sim \frac{1}{K}$ . Массовая скорость кон-

денсации  $\sigma_K = K \rho_2 V$ , где  $\rho_2$  - плотность вещества G-ядра,  $V$  - объем вещества перешедшего в конденсированное состояние за время  $t_2$ :  $V = 4\pi R_G^2 x$ ,  $R_G$  - радиус G-ядра,  $x$  - изменение  $R_G$  за время  $t_2$ :  $x = \sigma_r t_2$ ;  $\sigma_r$  - как и раньше, скорость расширения.

Но скорость  $U_K$  можно оценить и по величине теплового потока  $Q$ , считая приближенно, что вся энергия, выделяемая при конденсации, преобразуется в тепло и без потерь доходит до поверхности Земли:  $\sigma_K = Q/U$ , где  $U$  - теплота фазового перехода.

Скорость конденсации  $K = \frac{Q}{4\pi U \rho_2 R_G^2 \sigma_r t_2}$  и для значений:  $U = 10$  кДж/г,  $\rho_2 = 35$  г/см<sup>3</sup>,  $R_G = 1,2 \cdot 10^8$  см,  $\sigma_r$  до 10 см/год,  $t_2$  - около  $10^4$  лет, оказывается порядка ( $10^{-13}$  -  $10^{-14}$ )<sup>1/2</sup>.

Для оценки скорости конденсации  $K$  воспользуемся формулой Я.И.Френкеля /39/, преобразованной после подстановки таких физических величин, как поверхностное натяжение, критический радиус зародыша, разность потенциалов. Поскольку химический состав вещества G-ядра неизвестен (по всей видимости, его состав не должен значительно отличаться от состава вещества коры и мантии Земли), в формулу подставлены термодинамические и физические величины металла (в частности, меди). После преобразования формула Френкеля обретает вид:  $K \approx 10^{26} \exp(-3/\ell n^2 S + \ell n S)$ , где  $S$  - степень пересыщения, т.е. отношение давления пара вещества при заданной температуре к давлению насыщенного пара при той же температуре. Для малых  $S$  (как в нашем случае) величина  $K \approx 10^{26} \exp(-3/\ell n^2 S)$ .

Величине  $K \approx 10^{-13}$  1/с соответствует значение  $S = 1,2$ . Заметим, что изменение величины  $S$  примерно на 1% ( $S = 1,21$ ) приводит к увеличению (уменьшению) скорости конденсации  $K$  более чем на три порядка. Отсюда следует, что весьма незначительные изменения условий (температуры и давления) в зоне конденсации влекут за собой существенные изменения ее скорости.

Анализируя зависимость произведения  $K \cdot \sigma_r$  от времени цикла  $t_2$  ( $K \sigma_r \sim \frac{1}{t_2}$ , приходим к выводу: увеличение  $K \sigma_r$  эквивалентно уменьшению  $t_2$ . Увеличение величины  $K \cdot \sigma_r$  соглас-

но нашей модели, характеризует возрастание тектонической активности Земли. В свою очередь, уменьшение времени цикла  $t_2$  эквивалентно увеличению частоты инверсий МПЗ. Таким образом, предлагаемая модель дает объяснение известному экспериментальному факту.

Параметр  $K \cdot v_r$  имеет физический смысл как производная по времени скорости расширения Земли: чем выше производная, тем интенсивнее тектонические процессы. Кроме того, когда  $K \cdot v_r > 0$  — Земля расширяется,  $K \cdot v_r \approx 0$  — относительно стабильное ее состояние,  $K \cdot v_r < 0$  — сжатие.

## У.2. Толщина литосферы

Литосфера (упрощенно, по нашей модели) — оболочка Земли, в которой происходят тектонические процессы, такие как разломы, колебания, образование гор и поднятий и т.п. Ниже этой оболочки Земля ведет себя как пластическое тело, выше, т.е. в области литосферы, — как упруго-пластическое.

В течение периода  $t_2$ , когда происходит расширение Земли, в области границы  $G$ -ядра возникает давление  $P_F \approx \frac{\Delta \rho}{m} kT$ ,

направленное вдоль по радиусу Земли от границы  $G$ -ядра к поверхности Земли ( $\Delta \rho$  — разность в плотностях между  $G$  и  $E$  слоями ядра,  $m$  — масса атома (молекулы) вещества ядра (для  $Si O_2$   $m = 10^{-22}$  г),  $K$  — постоянная Больцмана,  $T$  — температура (в  $F$ -слое  $T \approx 10^4$  К). По оценкам,  $P_F \approx 10^6$  атм, оно убывает с уменьшением глубины  $h$ :  $P_h = \frac{P_F \cdot R_F^2}{(R_3 - h)^2}$  (для  $h \leq R_3 - R_G$ ).

Давление в центре Земли  $P_0 = 3,7 \cdot 10^6$  атм, распределение давления по радиусу  $P_r \approx \frac{h}{R_3} \cdot P_0$ , направление давления обратно направлению  $P_h$ . По определению,  $P_F < P_0$ , поэтому на значительной части радиуса Земли:  $P_h < P_r$  за исключением внешней оболочки глубиной  $h$ . В этой оболочке давление, вызванное процессами расширения Земли, может превысить литостатическое давление. При этом условии в оболочке толщиной  $h$  могут возникнуть названные выше тектонические процессы. По окончании периода  $t_2$  т.е. процесса расширения, начнется процесс сжатия оболочки  $h$ ,

так как в период  $t_1$  литостатическое давление превышает давление расширения.

Оценим величину  $h$ , для чего приравняем:  $P_h = P_r$ . Отсюда  $h = \frac{P_r \cdot R_r^2}{P_0 \cdot R_3} \approx 60$  км (для  $h \ll R_3$ ), что неплохо согласуется со средним значением толщины (мощности) литосферы Земли.

### У.3. Образование астеносферы

Известно, что толщина литосферы  $h$  под срединно-океаническими хребтами не постоянна, а увеличивается по мере удаления от рифтовых зон. Общий характер этой зависимости  $h \sim \sqrt{t}$ , где  $t$  расстояние от рифтовой зоны до точки измерения, выраженное в млн. лет, толщина  $h$  - в км (рис. 15). К настоящему времени, насколько нам известно, нет однозначного объяснения замеченной зависимости. Поэтому попытаемся дать интерпретацию этой зависимости в нашей модели.

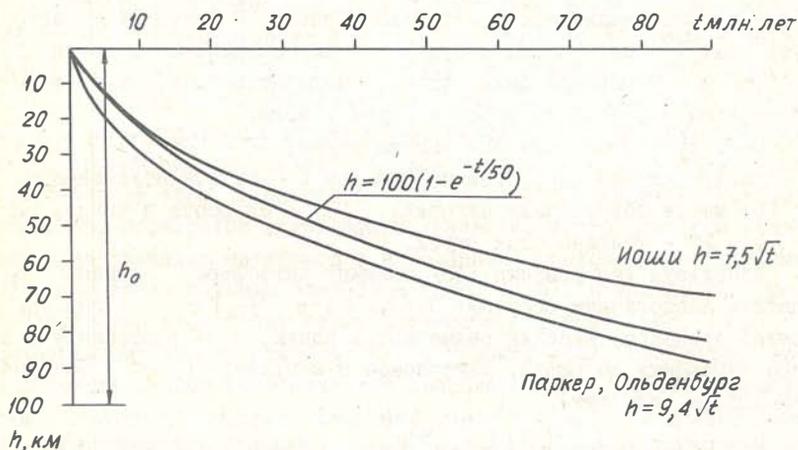


Рис. 15. Зависимость толщины литосферы  $h$  от расстояния до рифтовой зоны  $t$ .

Возникающее под действием сил расширения давление может привести к "разрыву" внешней оболочки Земли, в результате образуется трещинная (или рифтовая) зона. В окрестности влияния риф-

та возможно "течение" мантийного вещества Земли. Этот процесс, при диссипации энергии давления расширения Земли, приведет к расплавлению вещества (переходу его в пластическое состояние), т.е. к образованию магмы. Если расширение Земли происходит длительное время, то в "течение" вещества вовлекается все большая его часть. В результате возможно образование "воронки" из расплавленного подвижного вещества (астеносферы), находящегося внутри неподвижного (литосферы). Узкая часть (горловина) этой воронки будет совмещаться с местоположением рифта.

Такое протекание процесса образования расплавленного подвижного мантийного вещества (остывшего затем в течение периода  $t_1$  и называемого астеносферой) аналогично хорошо известной в гидродинамике задаче об образовании воронки ртутью, расположенной над водой /19/.

Ртуть, налитая на поверхность воды, неустойчива. На ее поверхности образуется небольшой бугорок, вокруг которого развивается неустойчивость. Через эту неустойчивость происходит течение (сток) вещества, по форме напоминающее воронку. Это явление экспериментально реализуется следующим образом. В сосуд наливают ртуть, сверху воду. Затем сосуд резко (с ускорением в несколько  $g$ , где  $g$  ускорение силы тяжести) подбрасывается, при этом наблюдается образование воронки ртути в воде.

Поле скоростей движения частиц ртути:  $U = U_0 e^{-r/\mathcal{L}}$ , где  $U$  - распределение скоростей по радиусу  $r$  от оси неустойчивости (от места образования бугорка),  $U_0$  - скорость в точке, где  $r=0$ ,  $\mathcal{L}$  - толщина слоя ртути.

Используя это решение /19/ толщину литосферы можно определить аналогичным образом:  $h = h_0 (1 - e^{-t/T_0})$ , где  $h_0$  - масштаб процесса, имеющий размерность длины,  $t$  - расстояние в точке измерения до рифта, измеряемое в млн.лет,  $T_0$  - толщина астеносферы (млн.лет).

Зависимость  $h = 100 (1 - e^{-t/50})$  неплохо соответствует экспериментальным данным (рис. 15). Эта кривая заключена между  $h = 7,5 \sqrt{t}$  приведенной Т.Иоши, и  $h = 9,4 \sqrt{t}$ , полученной Р.Д.Паркером и Д.В.Ольденбургом /14/. При толщине астеносферы порядка 100 км и  $T_0 \approx 50$  млн.лет получаем величину радиальной скорости подъема вещества астеносферы 0,2 см/год. Напомним, что средняя скорость расширения Земли за последние 50 лет равна примерно

0,4 см/год (рис. 10), т.е. составляет величину того же порядка.

Отметим, что такая модель образования астеносферы дает лишь общую картину. В реальности необходимо учитывать процессы диссипации энергии, переход вещества в пластическое состояние (плавление – в нашей терминологии). Однако качественно картина образования астеносферы, по-видимому, отражена верно. Астеносфера (в нашей модели) должна образовываться в тех местах планеты, в которых сосредоточены основные механические напряжения: это – рифтовые зоны, океанические подвижные пояса, зоны границы между океанической корой и континентальной и т.п.

Действительно, астеносфера, представляющая собой вещество, характеризующееся сравнительно низкими скоростями сейсмических волн, мелкомасштабной скоростной неоднородностью, повышенной электропроводностью и пластичностью, обнаруживается в тектонически активных районах; на континентах в пределах платформ и под древними океаническими плитами преобладают области отсутствия или слабого развития астеносферных зон /2/.

Образование астеносферы, как следствие действия механизмов расширения (разуплотнения вещества на границе  $G$ -ядра, кристаллизации его на границе ядро – мантия, генерации вещества мантии и пр. в модели можно проследить по рис. 16. На рис. 16,а изображена ранняя стадия процесса. Сила, обязанная расширению (направление обозначено стрелками), вызывает образование трещины в континентальной коре, в свободное пространство начинается течение вещества, образуется астеносфера. Развитие этого процесса приводит к раздвижению материков и заполнению пространства между ними поднявшимся из глубины веществом (рис. 16,б). В дальнейшем подток вещества происходит через астеносферную зону (рис. 16,в). К аналогичному выводу приходит и Ю.В.Чудинов /42/. Привлекая геофизические данные (сейсмическое профилирование, данные сейсмологии и геохимии, возраст осадочных пород и т.п.), он делает вывод, что в окраинно-океанических зонах вместо принятой в гипотезе тектоники плит "субдукции" – пододвигания плит океанической коры под континенты, лучше объясняет известные факты "эдукция", т.е. вынос материала из-под континента в сторону океана.

Ранее нами предполагалось, что величина силы внутреннего давления, обязанного расширению Земли, достаточна для раздвиже-

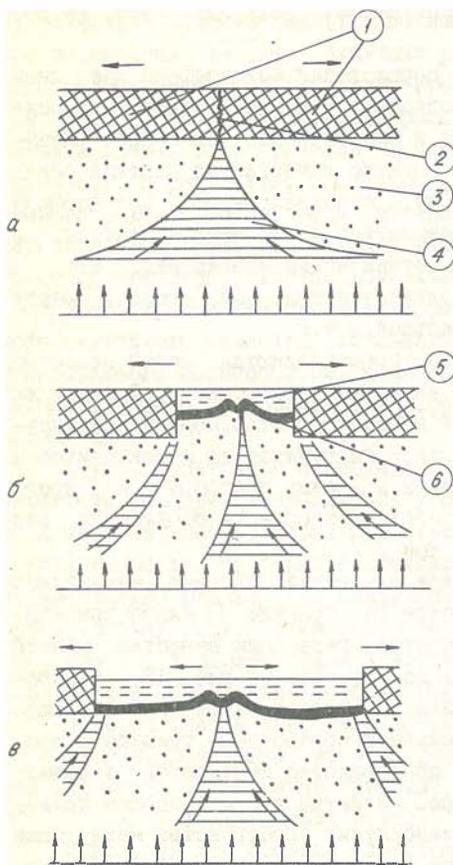


Рис.16. Образование астеносферы и формирование океанической коры "атлантического" типа:

а, б, в - различные стадии процесса;  
 1 - континентальная кора, 2 - рифт,  
 3 - литосфера, 4 - астеносфера, 5 - океан,  
 6 - океаническая кора.

ния материков и образования океанической астеносферы. Представим себе, что эта сила в другом районе Земли будет значительно меньше. При наличии трещины в коре возможно "течение" существенно меньших масштабов, реализуемого на Земле, например, в виде вулкана.

Возможен случай, когда в коре трещины нет и она представляет собой прочную преграду, под которой за счет внутренних локальных свободных полостей происходило "течение" с образованием локальной астеносферной зоны. Сброс накопившейся энергии в такой ситуации может реализоваться путем "прострела" преграды аналогично тому, как пробивает преграду кумулятивная струя. В зоне действия струи вполне могут существовать температуры и давления, необходимые для образования алмазов (образование кимберлитовых труб).  
 Рассмотренная схема развития процессов более характерна для образования океанических хребтов, так называемого "атлантического" типа. В этой схеме континентальная кора, обладая определенной прочно-

стью, не растягивается под действием сил расширения, а рвется и раздвигается. Образовавшееся в результате раздвижения континентов пространство заполняется сформированной океанической корой.

Однако представим себе ситуацию, в которой континентальная кора была менее прочной и могла растягиваться (рис. 17). В этом случае наращивание океанической коры происходило бы отличным от предыдущего способом – от центра к окраинам образующегося океана. Астеносферная зона, занимая в начале процесса центральное место, по мере развития его преобразовалась в кольцевую форму (упрощенно), совмещающую с "берегом" континента. Возможно, что в результате действия такого процесса образовалась океаническая кора "тихоокеанского" типа в виде прочной и жесткой "пластины" радиусом  $R$  и толщиной  $h$  (см. рис. 17, в). Края "пластины" жестко не закреплены и уходят под материк (на расстояние  $\delta$ ). В цикле расширения "пластина" выгибается, ее края выдвигаются из-под материка. При следующем цикле – сжатии, края "пластины" опускаются под материк (некоторая аналогия субдукции в плитной тектонике). В зоне контакта материк – "пластина" могут возникать напряжения

$\sigma = \frac{FK}{S}$ , где сила  $F = mg$ ,  $m$  – масса пластины,  $m = \pi R^2 h \rho$ ,  $\rho$  – плотность ее вещества,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $S = 2\pi R\delta$  – площадь контакта,  $K$  – коэффициент преобразования механической энергии в сейсмическую.

Оценим величину  $K$ . Известно, что суммарная энергия землетрясений равна примерно  $10^{25}$  эрг/год. Будем считать, что вся она выделяется в зоне контакта "пластины" с материком. Потенциальная энергия "пластины"  $P = mg v_r t$ ,  $v_r t$  – амплитуда колебаний пластины (в настоящее время  $v_r t \approx 0,1$  см) оказывается около  $10^{27}$  эрг/год (для  $R = 5$  тыс. км,  $R$  – "радиус" тихоокеанской "пластины",  $h \approx 5$  км,  $\rho \approx 3$  г/см<sup>3</sup>), величина  $K$  – порядка  $\approx 10^{-2}$ . Получаемое значение напряжения  $\sigma$  (килобары) сравнимо по величине с напряжением разрушения горных пород и достаточно для "организации" землетрясения. Приведенная оценка (в рамках нашей модели) предлагает объяснение уникальному явлению на Земле – сосредоточению землетрясений на побережье Тихого океана. В зонах океанических хребтов подобного явления не происходит, так как в них диссипация энергии расширения – сжатия реализуется через пластическое течение вещества.

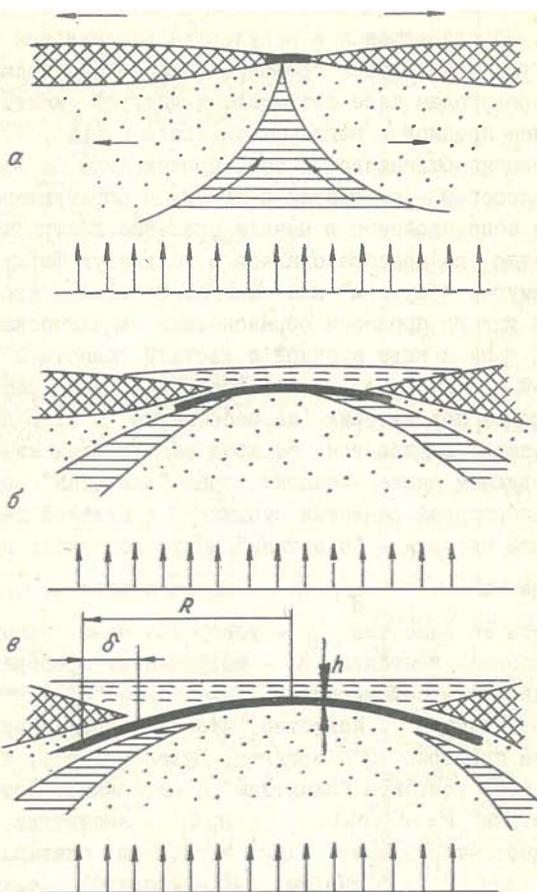


Рис.17. Формирование коры "тихоокеанского" типа.  
(Обозначения те же, что и на рис.16).

#### У.4. Образование поднятий (гор)

Если при расширении Земли и расплавлении мантийного материала раздвижения не происходит, возможен вынос магмы на поверхность Земли и образование поднятий (гор).

Оценим высоту поднятий и глубину их "корней". Для простоты представим, что Земля состоит из вещества, находящегося в двух состояниях: собственно Земли с плотностью  $\rho_3$  ( $\rho_3 = 5,5 \text{ г/см}^3$ ) и ее оболочки с плотностью  $\rho_0$  ( $\rho_0 = 2,7 \text{ г/см}^3$ ). Граница между оболочкой (корой) и Землей есть не что иное, как граница фазового перехода (для упрощения не учитываем некоторое различие в химическом составе). Пусть  $h_1$  - толщина оболочки (коры) до начала образования поднятий,  $R_1$  - радиус сферы, вплоть до границы фазового перехода между оболочкой и собственно Землей (рис. 18, а).

В результате процессов плавления, вызванных "течением" вещества, часть его в окрестности ослабленной зоны, через которую происходит вынос вещества на поверхность, переходит в расплавленное состояние, причем это справедливо как в отношении вещества оболочки с плотностью  $\rho_0$ , так и в отношении вещества с плотностью  $\rho_3$ . Очевидно, что в ре-

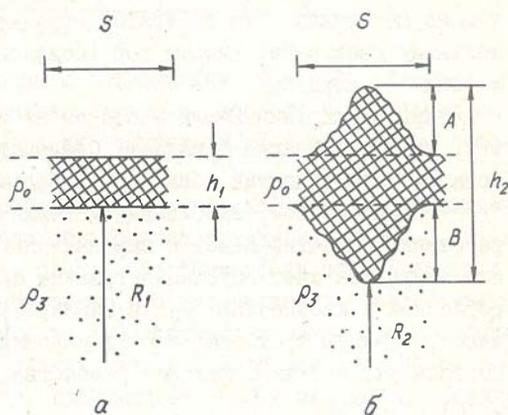


Рис. 18. Образование гор.

зультате плавления граница между Землей и оболочкой исчезает. После окончания цикла расширения и образования поднятий, расплавленное вещество Земли перейдет в кристаллическое состояние с двумя плотностями (согласно нашему допущению). При этом окажется, что вещество с плотностью  $\rho_0$  будет занимать оболочку толщиной  $h_2 > h_1$  причем оболочка  $h_2$  включает в себя как горы (поднятия), так и их "корни".

Докажем это утверждение. Примем, что  $h_2 = h_1 + A + B$ , где  $A$  - высота поднятий, а  $B$  - глубина их "корней". Радиус  $R_2$  стал меньше, чем  $R_1$ , причем  $R_1 = R_2 + B$  (см. рис. 18, б).

Рассмотрим два конуса, имеющих равные площади  $S$  в основании. Высота конуса состоит из  $R_1 + h_1$  в первом случае и  $R_2 + h_2$

– во втором. Для сохранения момента инерции вращающейся Земли необходимо выполнение условия:  $m_1 R_1^2 = m_2 R_2^2$ . В нашем случае можно записать:  $[B \cdot \rho_3 + m \rho_0] R_2^2 = h_2 \rho_0 R_2^2$ , полагая что  $m = Sh \rho$ . Отсюда получаем:  $A/B = \frac{\rho_3 - \rho_0}{\rho_0}$ . Так как  $\rho_3 \approx 2 \rho_0$ , то  $A/B \approx 1$ , т.е. высота поднятий примерно равна глубине их "корней".

По поводу полученной зависимости сделаем два замечания.

В океане  $\rho_0$  (с учетом толщины слоя воды) несколько ниже, чем на материках. Это обстоятельство должно приводить к относительному увеличению высоты гор (поднятий) в океане и уменьшению глубины их корней.

При расширении Земли масса ее не изменяется, а объем растет, значит величина  $\rho_3$  падает. Следовательно, относительная высота древних поднятий должна быть больше.

Таким образом, выполнение условия сохранения момента при образовании поднятий ведет к выравниванию масс ( $m_1 = m_2$ : условие изостазии) за счет опускания границы фазового перехода между оболочкой с плотностью  $\rho_0$  и Землей ( $\rho_3$ ). Разделив в этом равенстве каждую часть на  $R_2^2$  и умножив на  $G$  – гравитационную постоянную, получаем условие равенства ускорения силы тяжести:

$$G \frac{m_1}{R_2^2} = G \frac{m_2}{R_2^2}. \quad \text{Выполнение правила сохранения момента при}$$

образовании гор автоматически приводит к изостазии и равенству ускорения силы тяжести.

Итак, расширение Земли порождается конденсацией вещества внутреннего ядра. Механизм конденсации имеет пульсирующий характер и находит свое отражение в периодическом характере тектонической активности.

Каков же запас энергии на Земле? Масса вещества  $G$ -ядра оценивается как  $\approx 3 \cdot 10^{26}$  г, что соответствует примерно  $4 \cdot 10^{30}$  Дж. Если считать, что вся масса Земли  $6 \cdot 10^{27}$  г в момент ее образования находилась в том же состоянии, что и вещество в  $G$ -ядре, то за пять миллиардов лет своего существования в обычное (конденсированное) состояние перешло 19/20 ее массы. Если же скорость конденсации считать равной средней, то вещество  $G$ -ядра перейдет в конденсированное состояние примерно за 250 млн. лет. Но если расширение Земли происходит примерно по экспоненциальному закону и скорость конденсации примерно в 15–20 раз выше (рис.10), этот срок соответственно сократится.

## Глава VI. ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В настоящее время известны результаты ряда экспериментов, которые можно считать чрезвычайно важными для проверки нашей модели. Но для этой цели необходимы новые эксперименты (как натуральные, так и численные), с тем чтобы выяснить принципиальные моменты планетарной астрофизики, физики Земли, геодинамики и магнитного поля Земли.

### VI. I. Астрофизика

Главный вопрос из области астрофизики, который необходимо решить для проверки предлагаемой модели, состоит в выяснении механизма образования планет и их спутников. Подходов к его решению может быть несколько.

Первый подход — разработка математической (как аналитической, так и счетной) модели образования звезды (планеты) и, как следствие его, образование планет (спутников) на основе законов и правил механики сплошной среды (это, по-видимому, единственно правильный путь). Заметим, что аналитически задача определения динамики гравитационного сжатия газового шара (см. гл. II) с образованием звезды и планет, вращающихся вокруг звезды по правилу Боде, еще ждет своего решения, которое позволит со значительно большей ясностью, чем в настоящее время, ответить на основные вопросы, связанные с внутренним устройством планет.

Другой подход — экспериментальное наблюдение планет и планетных систем других звезд. Причем, поскольку известно, что возраст звезд различен и они находятся на различных этапах своей эволюции, наибольший интерес представляло бы наблюдение планетных систем именно в таком аспекте. Однако осуществить это технически весьма трудно. Очевидно, что увидеть в оптический телескоп планету, даже планету самой ближайшей звезды, нельзя. Поэтому в оптической астрономии о наличии у звезды планеты можно судить лишь наблюдая незначительные смещения в ее положении, которые будут происходить, если около звезды обращается планета. Так, например, подсчитано, что астроном с какой-нибудь звезды должен наблюдать регулярные смещения Солнца каждые 5,9 лет (полупериод обращения Юпитера) на величину примерно  $1,5 \text{ млн. км} / \text{л.}$  К настоя-

цему времени у II звезд обнаружены смещения, позволяющие думать, что около них обращаются планеты. Наибольший интерес представляет звезда Барнарда, вокруг которой вращаются, по мнению ван де Кампа, две планеты с массами 0,4 и 0,8 массы Юпитера.

Американские астрономы Абт и Леви /там же/, анализируя спектры звезд, наблюдаемых на северном небе невооруженным глазом, пришли к выводу, что примерно треть звезд солнечного типа являются одиночными (а не двойными) звездами, причем большинство из них (возможно, что и все) имеют планетные системы. Таким образом, солнечная система оказывается далеко не уникальной.

Наибольший интерес представляет обнаружение протопланетных систем у молодых звезд. На результатах изучения звезд типа Т-Тельда мы останавливались в главе II. Напомним, что время образования планетных систем у звезд типа Т-Тельда не должно превышать  $10^5$  лет /30-6/, что в значительно большей степени соответствует нашим оценкам, чем, например, оценками времени образования планет путем аккреции из планетезималей /34/.

Благодаря успехам сверхдальной радиоинтерферометрии стало возможным проследить процессы формирования протопланетных колец - прообразов будущих планет. В частности, обнаружена кольцевая структура в объекте Орион-А /23/, где радиус кольца равен 6 а.е. Кольцо состоит из нескольких более тонких протопланетных колец, поперечное сечение которых не превышает 0,2 а.е. Их масса примерно равна массе Земли. Кольца движутся со скоростью 8,5 км/с вокруг звезды, масса которой равна массе Солнца.

Продолжение исследований планетных систем, находящихся на различной степени эволюции, позволит однозначно решить вопрос о механизме их образования. Проведение подобных исследований необходимо и в связи с разработкой и осуществлением в ближайшем будущем проектов по реализации глобальных фазостабильных радиоинтерферометрических систем /17,45,51/.

## У1.2. Физика ядра Земли

Согласно нашей модели, вещество внутреннего ядра Земли находится в высокоплотном, высокотемпературном, газообразном состоянии и переходит в конденсированное в течение характерного для каждой планеты времени эволюции. Этот переход реализуется в

F –слое, который, по данным сейсмологии, имеет особенность, состоящую в понижении ("провале") в этом слое скорости распространения продольных сейсмических волн  $I_6$  (рис. 6). Подобный "провал" в скорости сейсмических волн может характеризовать двухфазную среду, что согласуется с нашей моделью.

Основные моменты, подлежащие экспериментальной проверке модели в части физики ядра Земли, – это определение (оценка) плотности внутреннего G –ядра и уточнение характерных величин скоростей волн в F –слое (так как в ряде монографий поведение скоростей в этом слое изображается без характерного "провала").

Единственный способ получения информации о физических характеристиках внутренних слоев Земли – это зондирование ("просвечивание") ее сейсмическими волнами. Как правило, в качестве источника таких волн используется сейсмическая энергия землетрясений, либо геофизических взрывов. При этом зачастую послынный разрез Земли восстанавливается по времени прихода сигнала на сейсмоприемники, расположенные в различных географических точках Земли. Значительная часть информации (спектральная, фазовая, дисперсионная и пр.) теряется. Подобная ситуация в сейсмологии существовала до появления идеи и разработки методов ВПЗ – вибрационного просвечивания Земли. Этот метод интенсивно развивается, но используется пока для изучения коры и верхней мантии Земли. С успешной разработкой мощных вибраторов и систем регистрации очень слабых сейсмических сигналов (с накоплением, корреляцией, синхронным детектированием и т.п.) можно рассчитывать на постановку и проведение натурального эксперимента по зондированию ядра Земли методами ВПЗ. Такой эксперимент мог бы позволить оценить два наиболее существенных для нашей модели момента – плотность G –ядра и поведение скоростей сейсмических волн в G –ядре, F –слое и внешнем ядре (E–слое).

Очевидно, что проведению такого эксперимента должны предшествовать расчеты (на ЭВМ) распределения скоростей от источника, уровней сигналов на приемниках, пространственное распределение приемников (по профилю или по площади) и т.п. Уточнение экспериментальных данных по плотности G –ядра и величинам скоростей сейсмических волн, а также построение более точной модели физических процессов, происходящих в ядре Земли, позволит оценить ряд термодинамических характеристик его вещества.

### VI.3. Магнитное поле

В нашей модели дипольная компонента МПЗ генерируется путем суточного вращения двойного электрического слоя, образуемого в F-слое ядра (например, за счет термической ионизации и термодиффузионного разделения зарядов). Появление мультипольных компонент МПЗ вызвано неравномерным распределением плотности этих зарядов по F-слою (выраженном, например, в виде "бугров" и "впадин" на поверхности G-ядра). В этом случае должна наблюдаться корреляция между глобальными аномалиями: гравитационными, магнитными и тепловыми.

Величина МПЗ зависит (в нашей модели) от частоты суточного вращения планеты -  $\omega$ , ширины F-слоя  $\Delta R^2$  и плотности зарядов двойного электрического слоя -  $n_e$ . Обнаружена корреляция между вековым изменением величины дипольной компоненты МПЗ и частотой  $\omega$ : увеличению частоты  $\omega$  соответствует увеличение амплитуды поля. Однако, если за год (в среднем) отношение  $\frac{\Delta \omega}{\omega} \approx (10^{-9} - 10^{-8})$ , то  $\frac{\Delta H}{H} \approx 10^{-3} - 10^{-4}$ , т.е. наблюдается явное несоответствие величин. Попробуем объяснить это несоответствие.

Считается общепринятым способ определения дипольной компоненты МПЗ как первого члена разложения полного поля в ряд Гаусса, причем, как известно, дипольная компонента оказывается наклоненной к оси вращения на  $11,5^\circ$ . Но согласно нашей модели дипольная компонента МПЗ должна быть параллельна оси вращения планеты, а угол  $11,5^\circ$  обеспечивается влиянием мультипольной компоненты - аномалии. Если принять эту точку зрения, то отношение  $\frac{\Delta H}{H}$  будет в значительно большей степени (чем  $\frac{\Delta \omega}{\omega}$ ) определяться величиной векового хода аномалии, который по величине как раз такого порядка ( $\Delta H = 5-50 \mu$  /год,  $H \approx 5 \cdot 10^4 \mu$ ).

По-видимому, для вариации величины  $H \left( \frac{\Delta H}{H} \right)$  изменение  $\frac{\Delta \omega}{\omega}$  слишком незначительно, возможно и величина  $\Delta R^2$  также мало изменяется с течением времени. Параметр, который меняет свою величину и даже знак, - это  $n_e$  (действительно,  $n_e = 0$  - инверсия МПЗ), и именно вариация концентрации зарядов двойного слоя и определяет  $\frac{\Delta H}{H}$ . Величина  $n_e$  определяется процессами тепло-массопереноса, происходящими в F-слое, которые, в свою очередь,

являются следствием "конденсации" вещества  $G$ -ядра. Аналогичным образом следствием этих процессов являются изменение частоты вращения Земли, изменение ее радиуса  $\lambda$ , как будет показано ниже, вариации амплитуды прецессии и нутации Земли, а также изменение ее сейсмической активности.

Одним из основных моментов в модели МПЗ, как мы отмечали в гл. IV, является объяснение дрейфа его полюса. По нашей модели, смещение магнитного полюса вызывается влиянием магнитных аномалий ("фокусов"), а его дрейф — изменением значений поля в окрестности этих аномалий ("фокусов"). Модель может быть экспериментально проверена (с этой целью представляется целесообразным установить ряд геомагнитных станций по магнитному меридиану: Восточно-Сибирская Аномалия (ВСА) — Северный магнитный полюс — Канадская Аномалия (КА) (см. рис. 12). Эксперимент будет заключаться в регистрации на этих станциях компонент магнитного поля и в сравнении их значений с изменением координат магнитного полюса.

В Канаде имеются три таких станции, почти точно расположенные на магнитном меридиане: это станции Черчилль, Бейкер-Лейк, Резольют-Бей. В нашей стране ближе всего к этому меридиану расположена станция на мысе Челюскин. Для реализации предлагаемого эксперимента потребовалось бы установить по крайней мере две станции: одну непосредственно в районе ВСА, другую несколько севернее, между ВСА и мысом Челюскин.

Из нашей модели следует, что должна наблюдаться корреляция между знаком гравитационной аномалии и аномалии МПЗ, а также корреляция (по величине и знаку) между  $\frac{\Delta H}{H}$ ,  $\frac{\Delta g}{g}$  и  $\frac{\Delta Q}{Q}$ . В предлагаемом эксперименте возможна проверка такой корреляции, для чего потребуются с необходимой точностью в точках аномалий (либо "главных фокусов" /44/) регистрировать компоненты магнитного поля, величину ускорения силы тяжести, величину теплового потока.

#### VI.4. Геодинамика

Как мы показали, что "горячая" модель образования планеты описывает состояние ее вещества и последующую эволюцию, в течение которой вещество из высокоплотного, нагретого, газообразного состояния переходит в нормальное, конденсированное, вызывая при

этом увеличение объема планеты – расширение. Материки при этом раздвигаются, пространство между ними заполняется веществом, прошедшим магматическое состояние, образуются океаны на Земле, "моря" – на Луне, "каналы" – на Марсе и т.п. Это модель. Одним из возможных доказательств ее было бы следующее.

Выполним операцию: определим площадь дна океанов самого "молодого" возраста (например, последних 10–20 млн. лет) и "уберем" ее с карты (глобуса). "Сдвинем" материки заполнив "освободившееся" пространство и вычислим текущий радиус планеты. Повторим эту процедуру последовательно для все более древнего возраста планеты. В конечном счете мы должны "собрать" материки на сфере радиусом, равным радиусу внешнего ядра, так как площадь материков практически равна площади внешнего ядра Земли. Естественно, при выполнении этой операции может оказаться, что придется несколько деформировать (растягивать или сжимать) материки, возможно, несколько повернуть их вокруг своей оси. При этом должны выявиться точки приложения растягивающих (сжимающих) сил, которые, в принципе, должны совпасть с местоположением глобальных гравитационных аномалий. Одним из доказательств факта расширения Земли может быть решение нашей задачи, при котором "корни" материков не пересекаются.

Успехи, достигнутые в последние десятилетия в изучении геологии дна океанов и в частности обнаружение явления разрастания дна океанов (спрединга), стимулировали появление и "расцвет" плитной тектоники. Однако из модели разрастания дна океанов вытекают два альтернативных следствия: во-первых, необходимо, чтобы плиты "ныряли" одна под другую, если радиус планеты остается неизменным, либо во-вторых, необходимо, чтобы увеличивался радиус Земли и она расширялась. С целью проверки характера и скорости движения плит, их кинематики разрабатываются и уже начали осуществляться проекты, включающие лазерные и радиоинтерферометрические системы /45, 51/.

Лазерные системы, расположенные на различных континентах, состоят из излучателей и приемников. Лазерный луч направляется на Луну или специально выведенные на орбиту для реализации этого эксперимента искусственные спутники, отражается от угловых отражателей, установленных на Луне американскими экспедициями "Аполлон" и принимается наземными станциями. Точность

измерения расстояния между станциями (т.е. между континентами) не превышает 5 см.

Другой проект заключается в создании системы радиотелескопов, образующих длиннобазовый интерферометр. Телескопы одновременно принимают сигналы одного и того же квазара (или другого удаленного радиисточника). Точность измерения расстояния между приемниками обеспечивается на уровне около 3 см.

Авторы проектов утверждают /51/, что совместное использование этих двух систем позволит повысить точность измерения расстояния между станциями настолько, что можно будет обеспечить нижний предел измерения относительной скорости движения плит порядка 1 см/год.

В нашей стране разрабатывается проект создания глобальных фазостабильных радиоинтерферометрических систем, предназначенных для решения задач астрофизики, космологии и геофизики. В частности, предполагается с помощью такой системы провести измерения скорости вращения Земли с точностью, заметно превышающей современную, изучить свободные и вынужденные движения полюса Земли, измерить расстояние между пунктами, разнесенными на тысячи км (вплоть до  $2 R_{\oplus}$ ) друг от друга, с точностью до 1 см /17/. Реализация этих проектов позволит определить относительные скорости движения плит.

Рассмотрим, какие же результаты могут быть получены при осуществлении этих проектов, если наша модель пульсирующего расширения верна. Но прежде остановимся на результатах наблюдений за скоростью вращения Земли, колебанием положения ее полюса и суммарной энергии землетрясений /46/. Как показано на рис. 19, замедление вращения Земли хорошо коррелирует с возрастанием амплитуды колебаний положения географического полюса и увеличением энергии землетрясений, т.е. ростом сейсмической активности Земли (коэффициент корреляции 0,78 для усреднения по 5 годам и 0,9 - по 20).

Как мы отмечали, в настоящее время Земля "переживает" спокойный период - глобального расширения не происходит. Согласно нашей модели, некоторое незначительное усиление, либо ослабление

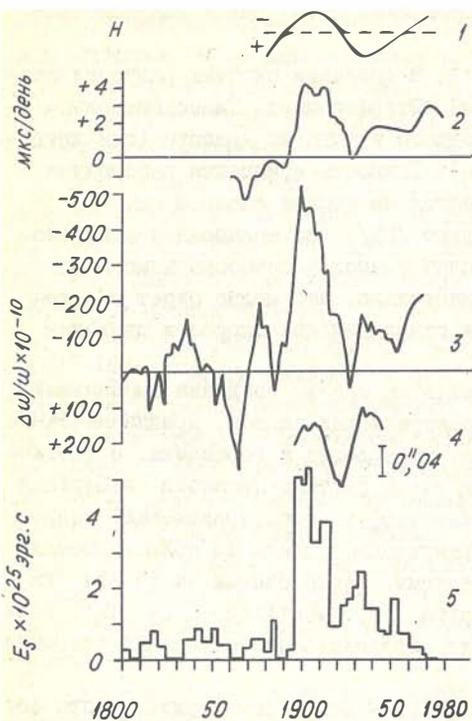


Рис.19. Вековые вариации параметров: 1 - магнитного поля Земли /32/, 2 - длины суток /49/, 3 - скорости вращения Земли, 4 - величины нутации, 5 - суммарной энергии землетрясений /46/.

оценим (в нашей модели) порядок некоторых величин. Согласно эксперименту, максимальное значение  $\frac{\Delta\omega}{\omega} \approx 10^{-9}$  1/год, соответственно и  $\frac{\Delta r}{r}$  должно быть того же порядка. Тогда радиальная скорость расширения  $v_r = 1$  см/год, а скорость увеличения периметра Земли (скорость движения плит)  $v_p \approx 2\pi v_r \approx 6$  см/год. Как явствует из рис. 19, за период с 1900 по 1950 гг. (примерно) величи-

процессов конденсации, следовательно, как расширение, так и сжатие Земли может происходить и в настоящее время. Если встать на эту позицию, то при увеличении интенсивности процессов конденсации радиус Земли увеличивается, скорость вращения убывает (в силу равенства момента), увеличивается амплитуда раскачивающих Землю колебаний, возрастает сейсмичность (по нашей модели) и должна наблюдаться корреляция значений величин, представленная на рис. 19.

Более подробно вековые вариации скорости вращения Земли исследованы в /49/. Отмечается корреляция между скоростью вращения Земли и вековыми вариациями величины МПЗ /32/.

Анализируя полученные в /46/ экспериментальные результаты и считая, что все замеченные особенности порождены одной причиной - изменением радиуса Земли,

на  $\omega$  сначала уменьшалась, затем увеличивалась и, наконец, приняла прежнее значение. Зависимость  $\frac{\Delta\omega}{\omega}$  в период с 1861 по 1978 гг. приведена в /49/. Из анализа многолетних наблюдений можно заключить, что величина  $\omega$  колеблется около некоторого среднего значения. Таким образом, если основной причиной длиннопериодных вариаций скорости вращения Земли является изменение ее радиуса, которое, в свою очередь, вызвано процессами, происходящими в ядре Земли, и движение материков (плит) происходит по той же причине и тоже связано с изменением радиуса, то вполне может оказаться, что в течение некоторого времени наблюдения материка (плиты) двигались один относительно другого в одну сторону, затем в противоположную и так, что суммарный эффект перемещения равен нулю. Поэтому целесообразно постоянно сравнивать результаты геодинамических проектов с данными по наблюдению за скоростью вращения  $\omega$ .

Еще один способ контроля относительного изменения радиуса Земли состоит в наблюдении за изменением величины ускорения силы тяжести  $g$ , так как  $g = \frac{GM}{R^2}$  причем  $\omega \sim \frac{1}{R^2}$  и  $g \sim \frac{1}{R^2}$  т.е.

должна наблюдаться корреляция между  $\omega$  и  $g$ . Требования к точности и стабильности измерения величины  $g$  нами определены: она должна быть не хуже  $10^{-9}$  I/год, для чего необходимы чувствительность гравиметра (прибора, измеряющего величину  $g$ ) не хуже I мГал и стабильность его примерно в I мГал/год.

Один из лучших, наиболее чувствительных приборов для измерения величины  $g$  - гравиметр ГАБЛ, разработанный в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР, позволяет измерять  $g$  с погрешностью  $\pm 8$  мГал /II/. По мнению разработчиков ГАБЛа, принципиально возможно повысить чувствительность и стабильность прибора на порядок, что открывает перспективу использования его при решении геодинамической задачи - наблюдении за вариацией во времени величины ускорения силы тяжести, а значит и радиуса Земли.

Из предлагаемой нами модели эволюции Земли следует, что в процессе преобразования вещества G-ядра происходит его разуплотнение и возникает давление, направленное вдоль по радиусу от центра к дневной поверхности. Такие геодинамические процессы, как образование разломов, океанических хребтов, разрастание дна океа-

нов, землетрясения, образование вулканов и алмазных трубок, можно рассматривать как следствие этого явления. Общим для таких процессов является то, что все они представляют собой различные, в пространственном и временном масштабе, способы диссипации энергии, выделяющейся при разуплотнении вещества G-ядра. Такой подход открывает возможность для проведения численных экспериментов, соответствующих тому или иному процессу, и имеющих целью получение более полных данных как о природе сил, так и о термодинамических условиях в среде при протекании исследуемого процесса.

Реализация предлагаемых экспериментов (как натуральных, так и численных) несомненно значительно расширила бы наши представления о Земле и Солнечной системе независимо от того, верна предлагаемая модель или нет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взятое в качестве эпиграфа к данной работе изречение И. Ньютона приобретает, по мнению автора, в рамках предлагаемой модели конкретный смысл: основные, происходящие на Земле, планетах и спутниках процессы имеют одну причину, одну природу. Возможно, что какой-либо другой механизм (а не конденсация высокоплотного вещества) лежит в основе развития, эволюции Земли и других планет, но очевидно, что такие явления, как магнитное поле, тектонические процессы и тепловой поток порождаются одной и той же причиной. Это подтверждается и корреляцией (как прямой, так и опосредованной) между этими величинами.

Базисом предполагаемой модели является допущение о конденсации перегретого, перескатога в процессе образования планеты вещества. Известно ли состояние вещества при таких явлениях и температурах? Что это за состояние? На эти вопросы современный уровень эксперимента не дает однозначного ответа. В этой связи предлагаемую модель целесообразнее рассматривать в следующем ракурсе: что бы произошло, если бы такое развитие событий имело место?

Какие же аргументы можно привести в подтверждение правомочности нашей модели?

Очевидно, что вещество, например металл, нагреть до температур выше критических (выше  $10^4$  К) и сжать до высоких давлений ( $\approx 10^6$  атм) в стационарных условиях невозможно: нельзя термоизолировать вещество в подобном эксперименте. Остается единственный путь — импульсные процессы. Эксперименты, в которых возможно ввести энергию в вещество порядка теплоты фазового перехода (теплоты испарения), — это эксперименты с взрывающимися проволочками, эксперименты с кумулятивными струями, высокоскоростным ударом, воздействием на вещество мощных лазерных и электронных пучков. В экспериментах слой вещества толщиной  $\delta$ , непосредственно воспринимающий энергию, после воздействия на него переходит в некоторое особое метастабильное состояние. При этом он приобретает свойства, близкие к свойствам идеальной жидкости или идеального газа. По прошествии некоторого времени  $t$  вещество релаксирует и восстанавливает свои обычные свойства.

В нашей модели предлагается рассмотреть образование и эволюцию Земли и планет с именно этих позиций: после окончания пе-

риода образования начался период "релаксации" - перехода вещества планет в "обычное" состояние. Продолжим аналогию. Из экспериментов с металлами известно, что слой толщиной  $\delta = 10-100$  мкм "релаксирует" в течение времени  $t = 0,1-1$  мкс, причем наблюдается зависимость:  $\delta \sim \sqrt{t}$ . В этом случае для Земли  $\delta$  (ее радиус) =  $6 \cdot 10^8$  см, а величина  $t$  оказывается порядка  $10^8-10^{11}$  лет, т.е. включает в этот интервал значений время эволюции Земли ( $5 \cdot 10^9$  лет).

В экспериментах вещество релаксирует из метастабильного состояния с охлаждением, увеличением объема и конденсацией (интерпретация автора). Если продолжить аналогию, то вещество планет, будучи в момент их образования переведено в подобное метастабильное состояние, впоследствии, в течение своей эволюции ("релаксации"), будет переходить в обычное ("нормальное") состояние и притом расширяться. В этом плане свойство расширения - естественный процесс, характерный (на определенном этапе) для всех космических тел, как звезд, так и планет.

Имеются ли доказательства расширения Земли и планет? Выше мы касались физических аспектов этой проблемы. Геологические данные, говорящие в пользу гипотезы о расширении Земли, приведены и обобщены в обстоятельной книге С.Кэри /47/. Не будем касаться всего многообразия геологических доказательств расширения Земли, равно как и доказательств невозможности его. Остановимся лишь на двух моментах.

Палеомагнитные данные привлекаются для оценки палеорадиусов Земли. Согласно этим оценкам радиус Земли за последние 400 млн. лет мог измениться не более чем на  $\pm 5\%$  в обе стороны от его современного значения /24,25,27/. Однако этот результат получен на основе предположения, "что при расширении Земли континентальные части плит оставались жесткими и не подвергались "растаскиванию", они лишь приспосабливали свою кривизну к изменившейся кривизне земной поверхности. Если же такое "растаскивание" происходило и Земля расширялась (или сжималась) равномерно, а не только в пределах океанов, палеомагнитные наблюдения, имея дело лишь с угловыми величинами, не смогли бы выявить изменение размеров планеты" /27, с. 293/.

Если континентальные рифтовые зоны возникли вследствие расширения, то оценки палеорадиусов Земли на основе палеомагнитных

данных, как следует из цитированного заключения, необоснованны. Заметим, что палеомагнитология базируется на предположении о дипольном характере магнитного поля и совмещении осей вращения и МПЗ, что, как явствует из гл. IV, тоже не имеет под собой достаточных оснований. Таким образом, принятый в последнее время большинством исследователей предел изменения радиуса Земли в 5 % может быть (и должен) поставлен под сомнение.

Суть второго аргумента заключается в следующем. Согласно нашей модели, за последние 100–200 млн. лет сила тяжести (величина  $g$ ) на Земле уменьшилась примерно в два раза. Есть ли доказательства того, что в более раннее время на Земле значение  $g$  было большим? Оказывается есть. А.Д.Стварт (ссылки в /16/) предположил, что если сила тяжести в прошлом была больше современной, то это должно было отразиться на плотности осадочных пород. Он обнаружил, что древние глины Лондонского бассейна консолидировались при более высоких давлениях, чем давления, соответствующие современной максимальной толщине осадков. Им была получена величина максимально возможного уменьшения ускорения силы тяжести  $g$  за последние 26 млн. лет:  $4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ . Полученный результат неплохо соответствует вытекающему из модели  $(0,5-1) \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .

Приведем еще один пример. Академик А.Л.Яншин в статье "Все-гда ли так, как сейчас" ("Знание - сила", 1980, № 9) отмечает ряд особенностей, характерных для более ранних этапов эволюции Земли, заключающихся в том "что высоких гор в древности вообще не было", "...что величина силы тяжести ослабевает, что она была некогда больше", "... что скорость вращения Земли вокруг своей оси тогда была больше".

Вторая и третья из названных особенностей объясняются на основе нашей модели образования и эволюции Земли и планет. Что же касается первой особенности, то она тоже объяснима, поскольку каков бы ни был механизм образования гор - вулканический, магматический, либо механический, всегда этот процесс направлен против сил сжатия планеты, т.е. против гравитационных сил  $F$ . При этом ясно, что высота гор  $A \sim \frac{1}{F}$ . В свою очередь,  $F = gM$  ( $g$  - ускорение силы тяжести,  $M$  - масса горы). Отсюда следует зависимость:  $A \sim \frac{1}{g}$ , а так как в древности  $g$  была большей, то высота гор  $A$  - меньшей (подтверждение сказанному: на Земле высота гор не превышает 10 км, на Марсе - достигает 25 км).

Таким образом, анализируя эти примеры (их можно привести значительно больше), можно прийти к следующему выводу: физическая модель образования и эволюции планет, одним из проявлений которой является их расширение, имеет полное право на существование и дальнейшую проработку как в теоретическом плане, так и в плане постановки экспериментов. В подтверждение сказанного сошлемся на редактора перевода книги Т.Рикитаци В.И.Почтарева: "... пока не известны физические, химические и другие условия, существующие внутри Земли от ее поверхности до центральной области, любое научно обоснованное предположение, имеющее, согласно А.Эйнштейну, внутреннее совершенство, т.е. логическое или математическое построение и внешнее оправдание – соответствие фактам, может быть и должно рассматриваться в качестве вероятной гипотезы" /33, с. 6/.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агекийн Т.А. Звезды, галактики, метagalaktika. М.: Наука, 1982.
2. Алексеев А.С., Ваньян Л.Л. и др. Схема астеносферных зон Советского Союза. - Докл.АН СССР, 1977, т. 234, № 4, с.790-793.
3. Аллен К.У. Астрофизические величины. М.: Мир, 1977.
4. Артемьев М.Е. Изостатические аномалии силы тяжести и некоторые вопросы их геологического истолкования. М.: Наука, 1966.
5. Артемьев М.Е., Страхов В.Н. и др. Плостностные неоднородности под системой островных дуг. - Изв. АН СССР. Физика Земли, 1982, № I, с. 3-24.
6. Альтшулер Л.В., Бушман А.В. и др. Изоэнтропии разгрузки и уравнение состояния металлов при высоких плотностях энергии. - ЭКЭТФ, 1980, т. 78, с. 74I-760.
7. Батишкова И.В. Внутреннее строение Земли. М.: Наука, 1966.
8. Белоусов В.В. Основы гестектоники. М.: Наука, 1975.
9. Беннет Ф. Волна испарения. - В кн.: Физика высоких плотностей энергий. М.: Мир, 1974, с. 24I-257.
10. Ботт М. Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974.
11. Буланже Ю.Д., Арнаутов Г.П. и др. Результаты первого международного сравнения абсолютных гравиметров, Севр, 1981. - Изв. АН СССР. Физика Земли, 1983, № 3, с. 43-51.
12. Вейнберг С. Гравитация и космология. М.: Мир, 1975.
13. Вопросы внутреннего строения и развития Земли. - Труды Геофизического ин-та АН СССР, № 26 (153), М., 1955.
- 13-1. Шмидт О.Ю. Происхождение и ранняя эволюция Земли, с.5-10.
- 13-2. Лубимова Е.А. О тепловом режиме Земли, с. 39-50.
- 13-3. Магницкий В.Л. О физическом состоянии вещества в глубоких областях земного шара, с. 6I-85.
- 13-4. Мелик-Гайказян И.Я. О строении земного ядра, с.117-120.
- 13-5. Молоденский М.С. Плотность и упругость внутри Земли, с. 12I-130.
- 13-6. Калашников А.Г. Геомагнитное поле, связь его со строением Земли и происходящими в ней процессами, с. 198-207.
14. Геофизика океана, т. 2 / под ред. О.Г.Сорохтина.М.: Наука. 1979.
15. Грю К.Э., Иббс Т.Л. Термическая диффузия в газах. М.: ГИТЛ, 1956.

16. Джекобс Дж. Земное ядро. М.: Мир, 1979.
17. Дравских А.Ф., Корольков Д.В. и др. Глобальные фазостабильные радиоинтерферометрические системы. - Успехи физ.наук, 1981, т. 135, № 4, с. 587-636.
18. Кузнецов В.В. Образование кратеров при высокоскоростном ударе. - ЖПМТФ, 1982, № 3, с. 123-124.
19. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1973.
20. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. М.: ГИТТЛ, 1954.
21. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Наука, 1964.
22. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965.
23. Матвеев Л.И. Сверхдальняя радиоинтерферометрия. - Природа, 1982, № 7, с. 56-67.
24. Милановский Е.Е. Тектоническое развитие Земли в фанерозое в свете представлений о ее пульсациях и расширении. - В кн.: Тектоника. М.: Наука, 1980, с. 15-25.
25. Милановский Е.Е. Расширяющаяся и пульсирующая Земля. - Природа, 1982, № 8, с. 46-59.
26. Ньюто М.М. Закон Тиддуса-Боде. М.: Мир, 1976.
27. Палеомагнитология / Под ред. Храмова А.Н. М.: Недра, 1982.
28. Паркер Е. Космические магнитные поля, ч. 1, 2. М.: Мир, 1982.
29. Происхождение Солнечной системы. М.: Мир, 1976.
30. Протозвезды и планеты. / Под ред. Т.Герелса. Ч. 1, 2. М.: Мир, 1982.
- 30-1. Клейтон Д. Межзвездные облака, с. 18-52.
- 30-2. Ларсон Б. Образование звезд солнечного типа, с. 53-70.
- 30-3. Скало Д.М. Спектр звездных масс, с. 295-320.
- 30-4. Боденхаймер П., Блэк Д.К. Численные расчеты протозвездного гидродинамического коллапса, с. 321-360.
- 30-5. Абт Х.А. Частота встречаемости двойных систем вдоль главной последовательности, с. 361-381.
- 30-6. Имхофф К.Л. Эволюция звезд типа Т-Тельда и аргументы в пользу образования планет, с. 800-811.

31. Пейн-Гапошкина Ц. Рождение и развитие звезд. М.: ИЛ, 1956.
32. Роганова Н.М., Пушков А.Н. Глубинная электропроводность Земли. М.: Наука, 1982.
33. Рикитаци Т. Электромагнетизм и внутреннее строение Земли. Л.: Недра, 1968.
34. Рингвуд А.Е. Происхождение Земли и Луны. М.: Недра, 1982.
35. Седов Л.М. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1981.
36. Соболев В.В. Курс теоретической астрофизики. М.: Наука, 1967.
37. Станюкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды. М.: Наука, 1971.
38. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1966.
39. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкости. Л.: Наука, 1975.
40. Чандрасекар С. Введение в учение о строении звезд. М.: ИЛ, 1950.
41. Чандрасекар С. Принципы звездной динамики. М.: ИЛ, 1948.
42. Чудинов Ю.В. Расширение Земли и тектонические движения: о направлении движений в окраинно-океанических зонах. - Геотектоника, 1981, № 1, с. 19-37.
43. Штенгелов Е.С. Связь проявлений современной тектонической активности с формой Земли. - Докл.АН СССР, 1982, т.263, № 2, с. 416-420.
44. Яновский Б.М. Земной магнетизм. М.: ГИТТЛ, 1953.
45. Яцкия Я.С. Международный проект МЕРИТ (Препринт ИТФ 81-124). Киев, 1981.
46. Anderson D.L. Earthquakes and the rotation of the Earth. - Science, 1974, v. 186, N 4158, p. 49-50.
47. Carew S.W. The expanding Earth. Amsterdam: Elsevier, 1976.
48. Hope E.R. Geotectonics of the Arctic Ocean and the Great Arctic Magnetic Anomaly. - Journ. Geoph. Res., 1959, v.64, N 4, p. 407-427.
49. Morrison L.V. Re-determination of the decade fluctuation in the rotation of the Earth in the period 1861-1978. - Geoph. J.R.Astr. Soc., 1979, v.58, p.349-360.

50. Schmidt P.W., Embleton B.I.I. A Geotectonic paradox:  
Has the Earth expanded? - J. Geophys, 1981, V. 49, N 2, p.20-25.
51. Space data to be used on the plates. - Geotimes, 1981,  
N 12, p. 17-18.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие редактора . . . . .	5
В в е д е н и е . . . . .	7
Глава I. ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ОБРАЗОВАНИИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И "ГОРЯЧЕЙ", РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ЗЕМЛЕ . . . . .	II
I.1. "Горячая" Земля . . . . .	II
I.2. Расширяющаяся Земля . . . . .	I3
I.3. Образование Солнечной системы . . . . .	I5
Глава II. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА . . . . .	I8
II.1. Правило Бодде . . . . .	I9
II.2. Температура . . . . .	20
II.3. Механизм образования Солнечной системы . . . . .	2I
II.4. Оценки . . . . .	23
II.5. Волновой процесс . . . . .	24
II.6. Скорость вращения . . . . .	28
Глава III. ЯДРО ЗЕМЛИ . . . . .	3I
III.1. Температура и плотность ядра . . . . .	3I
III.2. Распределение температуры и плотности по радиусу . . . . .	35
III.3. Эволюция Земли . . . . .	36
III.4. Планеты . . . . .	44
Глава IV. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ . . . . .	48
IV.1. Общее представление и оценки . . . . .	48
IV.2. Магнитные аномалии Земли и положение магнитных полюсов . . . . .	5I
IV.3. Корреляция магнитных аномалий с тепловыми и гравитационными . . . . .	57
IV.4. Магнитное поле планет . . . . .	59
Глава V. АСПЕКТЫ ТЕКТониКИ . . . . .	6I
V.1. Пульсирующий характер расширения Земли . . . . .	6I
V.2. Толщина литосферы . . . . .	64
V.3. Образование астеносферы . . . . .	65
V.4. Образование поднятий (гор) . . . . .	70

	Стр.
Глава УІ. ЭКСПЕРИМЕНТЫ . . . . .	73
УІ.1. Астрофизика . . . . .	73
УІ.2. Физика ядра Земли . . . . .	74
УІ.3. Магнитное поле . . . . .	76
УІ.4. Геодинамика . . . . .	77
З а к л ю ч е н и е . . . . .	83
Л и т е р а т у р а . . . . .	87

План выпуска изданий СО АН СССР, 1984 (монографии), поз.24

Владимир Валерьевич Кузнецов

Физика Земли и Солнечной системы  
(модели образования и эволюции)

Утверждено к печати  
Институтом геологии и геофизики СО АН СССР

Редактор Ю.П. Бубенков

Технический редактор Н.Н. Александрова

---

Подписано к печати 28.12.84.           МН 06517.  
Бумага 60x84/16. Печ.л. 5,75.   Уч.-изд.л. 5,5.  
Тираж 600.           Заказ 42.           Цена 40 коп.

---

Институт геологии и геофизики СО АН СССР  
Новосибирск, 90. Ротапринт.

