

## Глава 6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР

...все, что есть, связано между собой, не ведая об этой связи.

А. Битов

### 6.1. Границы

#### *Основные понятия*

1. **Граница** – это то, что делает мир разнообразным. Благодаря границам мы можем различать тела и явления.
2. **Континуум** – сплошная, непрерывная среда.
3. **Дискретность** – раздельность, разделение на отдельные части.
4. **Металлогения** – часть учения о рудных месторождениях, изучающая закономерности распределения месторождений в пространстве и времени.
5. **Шельф** – материковая отмель, нижняя краевая часть материка, залитая морем (см. гл. 3 и 7).
6. **Эрозионно-аккумулятивная деятельность** – разрушительно-созидательная деятельность экзогенных процессов (см. главы 7 и 8).
7. **Экзогенные процессы** – внешние процессы; процессы, происходящие на земной поверхности и в верхних частях литосферы за счёт энергии, получаемой от Солнца, и в меньшей степени за счёт энергии, выделяемой из внутренних зон Земли, и силы тяжести.
8. **Нуклеар** – ядро. Здесь гипотетическая начальная стадия развития земной коры континентов.

#### *Условия проведения границ*

За внешней обыденностью и простотой понятие «граница» скрывает в себе большую внутреннюю сложность. Это легко понять с помощью нескольких примеров.

#### *Пример 1.*

Вот самый простой случай. Числа 1 и 2. Требуется между ними провести границу, т.е. назвать ещё одно число больше 1 и меньше 2. Большинство назовёт 1,5. Это будет верно, если договориться, что граница обязательно должна проходить точно по середине. Но, вообще говоря, это необязательно. Между 1 и 2 находится бесконечное множество чисел. Они дают представление о сплошной среде, о том, что в науке называют континуумом. Говоря о точке, т.е. об одном числе 1,5, мы сильно упрощаем реальную картину, добровольно становясь заложником бытовых представлений о границе, неосознанно эксплуатируя идеологию дискретного пространства с шагом прерывистости 0,5.

Таким образом, этот элементарный пример показывает, что *проведение границы требует некоторой конвенции*, определенной договорённости, которая обычно диктуется поставленной задачей. Ведь граница проводится для чего-то. Следует обратить внимание еще на одно обстоятельство:

*Процедура проведения границы превратила  
сплошную среду (континуум) в среду дискретную.*

У Вас, скорей всего, сразу возникает вопрос:

«Вот я вижу человека, дерево, дом. Разве для этого требуется какая-то договорённость?»

Я бы ответил на это так. Может быть. Может быть такая договорённость вложена в человека Создателем. Может быть, это свойство нашего мозга и возможности сетчатки нашего глаза. Может быть, это конвенция между нами и окружающим миром, записанная в хромосомах.

*Пример 2.*

На участках морских и океанических побережий пресные подземные воды поступают со стороны суши в акваторию. В горных породах, где происходит этот процесс, формируется зона контакта пресных и солёных вод. В зависимости от соотношения напоров, связанных с приливами и отливами, сильными штормами, нагонами и сгонами, интенсивностью выпадающих на поверхность суши атмосферных осадков и особенностями работы водозаборных колодцев и скважин зона контакта пресных и солёных вод колеблется. Она перемещается то в сторону океана или моря, то в сторону суши. Последнее обстоятельство может привести к подтоплению солёными водами прибрежных территорий, засолению почв и другим нежелательным явлениям, а также к попаданию морских вод в водозаборные устройства. Подобные факты широко известны в США, Израиле, Марокко, Японии, Голландии и многих других странах, где интенсивно эксплуатируются подземные воды приморских территорий.

Существуют различные методы прогноза и управления для этого явления. И все они основаны на тех или иных представлениях о границе между пресными и солёными водами (рис 6.1).

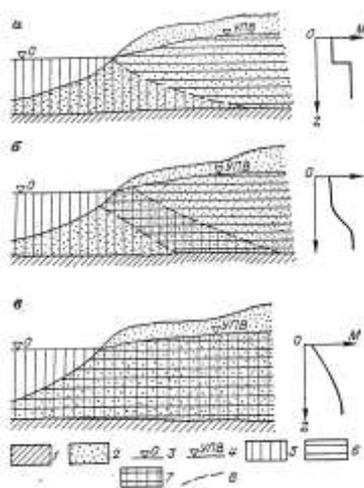


Рис.6.1. Представления о границе морских и пресных вод на морских побережьях

- а) В России расчётные схемы, описывающие разгрузку пресных подземных вод суши в море, основываются на представлениях о существовании чёткой границы раздела между пресными и морскими водами (линия, поверхность).
- б) В США граница между пресными водами суши и солёными водами моря рассматривается как некая переходная область (зона смешения или диффузии). Вместо границы-линии или границы-поверхности появляется слой.
- в) В Японии эта задача решается на основе представлений, что никакой линии, поверхности или зоны вообще нет, а есть лишь постепенный переход от солёных вод к пресным.

Замечательно, что во всех трёх случаях инженерный прогноз оказывается удовлетворительным.

Реальное взаимоотношение пресных и морских вод на побережьях является более сложным, но так ли это важно, если имеются схемы (хотя и исключаящие друг друга по исходным постулатам), вполне устраивающие практику.

Обнаружить, что в мире существует какой-то порядок, удаётся лишь тогда, *когда этот порядок мы начинаем искать. И, как правило, что ищем, то и находим.* Найдя же, не можем от этого отделаться, потому что память – коварная вещь. Заметим, что искомый порядок мы вначале строим в нашей голове, т.е. придумываем его. Придумываем, а потом это придуманное ищем в природе.

#### *Пример 4.*

Выбора границы может *зависеть и от поставленной задачи.* Сразу заметим, что кроме случая с числами и подобными им абстракциями, большинство границ имеет не только геометрическую форму, но и параметризованы, т. е. выражены через те или иные физические характеристики.

Здесь следует подчеркнуть, что практически всякая геометрия границы так или иначе связана с физическими представлениями об объекте, который эта граница вычленяет из мира и, соответственно, любые наши физические представления оформляются в той или иной геометрии.

Вспомним разговор о нашей Галактике (см. Гл.2). По форме она напоминает сжатый диск, имеющий экваториальную плоскость симметрии и ось симметрии, проходящую через её центр нормально плоскости.

Диаметр нашей звёздной системы оценивается в 30 килопарсек, а толщина около 2,5 килопарсек. Солнце находится почти точно в плоскости симметрии Галактики и отстоит от её центра на расстоянии приблизительно 10 килопарсек. Откуда взялись эти цифры? Они получены в результате измерений и расчётов, *но ... применительно к принятым границам Галактики.* А эта граница, в свою очередь, тоже

принята по величине звёздной плотности, равной 0,001 (одна звезда на 1000 кубических парсек). Ясно, что если мы за границу примем другое значение плотности, то и размеры нашей Галактики будут другими.

Таким образом, границу нашей звёздной системы мы определили договорным числом, имеющим конкретный физический смысл. При этом мы хотели «увидеть» форму Галактики и оценить её геометрические размеры.

*Пример 5.*

Часто один и тот же объект может быть оконтурен в разных параметрах и тогда у него даже при линейном оформлении границ может быть много контуров. Например, рудное тело вычленяется в массе вмещающих его горных пород по результатам электроразведочных работ, радиометрии, магнитной съёмки, металлогении, минералогии и т.д. Все эти границы рудного тела, естественно, не будут совпадать между собой (рис.6.2).

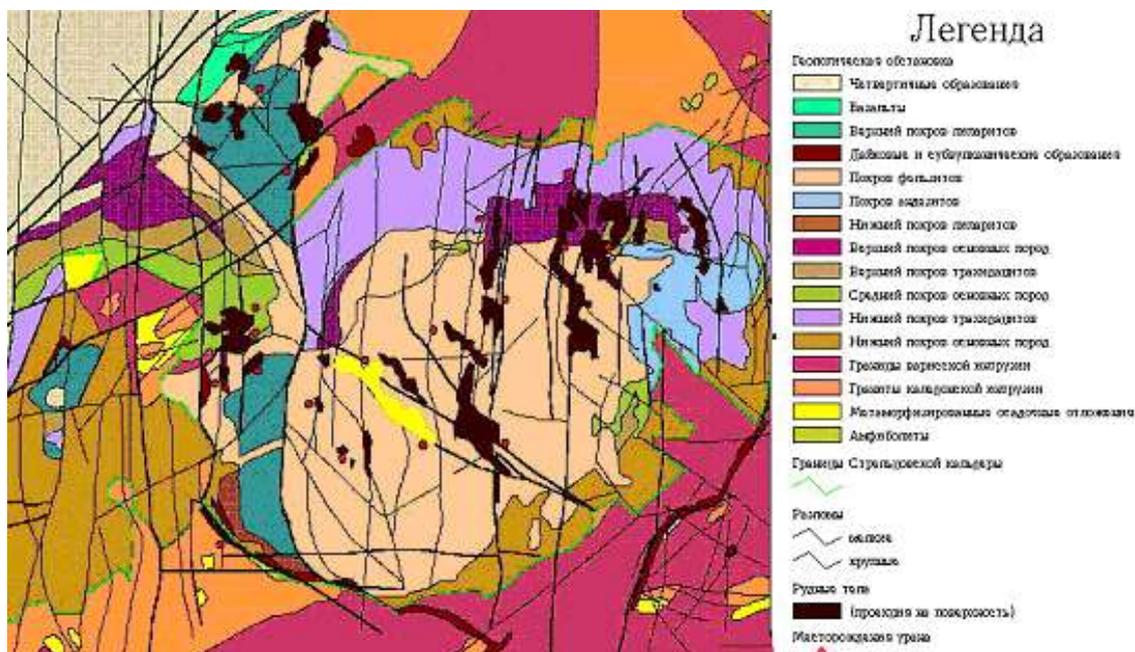


Рис. 6.2. Пример геологической обстановки в петрографических терминах.

Итак, цель была одна – «увидеть» рудное тело, но параметров, характеризующих это тело, много. И как результат – его многоконтурность: *множество тел вместо одного*. Все эти тела равноправны, все они реальны и все они неуловимы. Просто какого-то рудного тела, тела вообще, не существует. Оно *существует только в конкретных выбранных нами и измеренных характеристиках*.

Это пример того, что *истина многовариантна, а реальность проявляется в миражах*. Подобного рода примеров можно привести неограниченное число. Весь окружающий нас мир так устроен.

Множественность границ, определяемая параметрическим разнообразием любого объекта или понятия, имеет не только академическое значение. В большинстве случаев непонимание этого факта приводит к ненужным дискуссиям и даже осложнениям юридического и политического характера.

Примером может служить спор о границах Балтийского моря. В своё время мне пришлось познакомиться со многими документами по этому вопросу. Документы отражали не только позиции авторов, но и накал страстей, доходивший до того, что в них звучали обвинения даже в реакционном пруссачестве. Надо сказать, что у каждого участника спора были вполне *веские доводы в пользу своей и только своей точки зрения*. Но все они, к сожалению, забыли об одной принципиальной детали – *мотивации границ*: они не заявляли, о каких границах они ведут речь. Поэтому одни писали о морфологических границах, другие о гидрологических и климатических, некоторые о геологических, исторических, международно-правовых, экономических и т. д. Иногда критерии границ смешивались, менялись и, в конце концов, внешне простой вопрос был запутан предельно. А ведь разная мотивация – это разные задачи, скажем, определение площади испарения, вычисление объёма водных масс, оценки морфологических деталей дна, геологических структур, юридического права на подводные месторождения полезных ископаемых и т. д.

Подобного рода проблемы всё ещё не решены, например, в вопросе о *границах шельфа*. То обстоятельство, что на многих шельфах найдена нефть, делает споры ещё более острыми, а ситуацию вокруг них в ряде случаев катастрофически опасной в политическом отношении.

### *Пример 5.*

Теперь рассмотрим случай, когда мотивация проведения границы постоянна, параметры одни и те же, но вид границы всё же меняется.

Всем известно, что вода находится в природе в трёх фазах: жидкой — той, что и принято называть водой, твёрдой – известной как лёд и газообразной – пар. На рис. 6.3 показана диаграмма фазового состояния воды в зависимости от давления  $P$  и температуры  $T$ . (См. Гл. 3).

Каждое поле между линиями, разделяющими фазы, характеризуется двумя степенями свободы. Это означает, что на каждом из этих полей и давление и температура могут изменяться одновременно и такое изменение не влияет на сохранность фазы: вода в своём поле останется водой, лёд – льдом, а пар – паром.

На самих линиях картина уже другая. Независимой переменной будет только одна координата: либо  $P$ , либо  $T$ . Какую-то из них мы можем изменять произвольно, но чтобы удержаться на линии, теперь мы уже вынуждены соответствующим образом изменить и вторую координату.

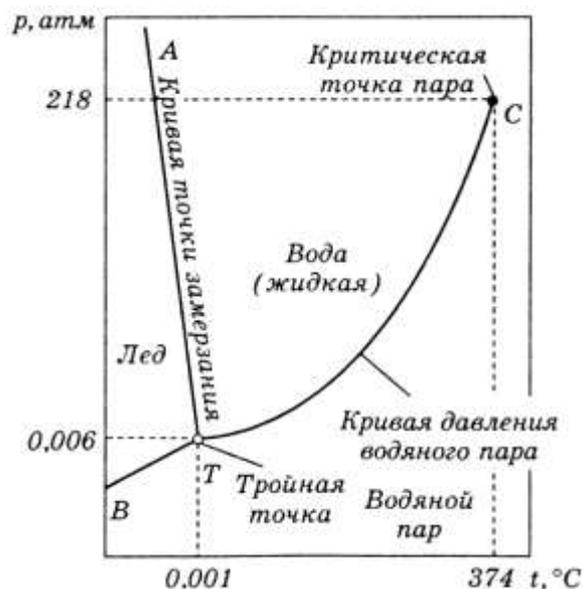


Рис. 6.3. Диаграмма фазового состояния воды (по К. Краускопфу).

Если этот факт перевести на формальный язык, то следует говорить, что каждая линия описывается неким уравнением с переменными Р и Т при условии фазового равновесия, т.е. условия, когда переход одной фазы в другую компенсируется обратным процессом, например, вод  $\Leftrightarrow$  пар, вода  $\Leftrightarrow$  лёд.

*Здесь мы видим знакомую картину – обязательное существование неких условий для проведения границы, того, что мы называли конвенцией или договорённостью.*

На рис 6.3 появилось ещё две точки с особыми свойствами, Т и С. Точка Т называется тройной. Она представляет собой границу трёх фаз сразу, т. е. обозначает одновременное сосуществование льда, воды и пара. Картину такого сосуществования представить несложно, поскольку с этой ситуацией каждый из нас знаком с детства.

Но вот точка С уникальна. Эта последняя точка на линии ТС, в которой вода и пар присутствуют как различные фазовые состояния одного и того же вещества. Сразу за пределами этой точки вода и пар неразличимы. Принято говорить, что в этой области вода обладает свойствами пара, а пар – свойствами воды. Иными словами, это область, где границы вода-пар нет или, что в данном случае одно и то же, граница находится везде.

Уравнение, описывающее граничную линию ТС, перестаёт «работать». Его решения как бы взрываются. Вместо того, чтобы для одного значения величины Т получить одно и только одно значение другой координаты Р (или наоборот), мы почему-то должны получать бесконечное множество значений второй переменной.

*Заметим, что критическая точка С получена экспериментально.*

*Таким образом, природа по неизвестным нам причинам вдруг отменяет начальную конвенцию, она не хочет более сотрудничать с нами по нашим правилам, она предлагает нам свои.*

Теперь попробуем подвести некоторые итоги и понять наш тезис о реальности в миражах.

Рассмотренные представления о границах так или иначе связаны с общефизической проблемой устройства Мира. Как Мир устроен? Дискретен или непрерывен? Представления об атомах как кирпичиках мироздания как будто не оставляют сомнения в том, что он дискретен. Однако, атомы взаимодействуют и связаны между собой с помощью электромагнитного поля, рассматриваемого современной наукой как самостоятельный вид материи. И этот факт как позволяет считать Мир непрерывным. В то же время так называемый дуализм волна-частица определяет и двойственность устройства Мира, делает его дискретно-непрерывным. Одни и те же проявления мы видим то так, то этак. И выбрать какое-то одно видение как абсолют, как единственный вариант мы не можем. Между дискретным и непрерывным границы не существует (см. Гл.1, п.1.6).

Почему так? Какой механизм формирует двойственность Мира и делает истину неуловимой (истину как что-то единственное). На эти вопросы нет ответов. Мир так устроен. Вот и всё. А истина? ***Наше заблуждение, наверное, состоит в том, что мы ищем то, не зная что, идём туда, не зная куда.***

В физике эта неуловимость истины отражена в принципе Гейзенберга, называемом ещё ***принципом неопределённости***. Суть его состоит в том, что невозможно увидеть или измерить что-то без воздействия на это «что-то». Наблюдатель и объект взаимодействуют. Разные приборы действуют на объект по-разному. И это взаимодействие вносит искажение в реальность, существующую вне нас. ***В этом смысле объективности как таковой просто нет.***

Гейзенберг сформулировал принцип неопределённости как фундаментальное ограничение на экспериментальные возможности. Он его выдумал как допущение, предшествующее теории, как априорную истину, как постулат квантовой механики. Допущения такого рода формируют наше корневое знание, а скорее незнание того образа, который вкладывается нами в основу описания объекта или Мира.

Никто ещё не изобрёл и даже не указал способ, как можно было бы избежать этого «прокрустова ложа», сформулированного ещё в Библии: ВНАЧАЛЕ БЫЛО СЛОВО (Евангелие от Иоанна ). Напомним, что в оригинале СЛОВО  $\equiv$  ЛОГОС  $\equiv$  ЗНАНИЕ. Речь идёт о неустранимости теоретических предпосылок.

Почему-то многие считают, что принцип неопределённости относится только к микромиру. На наш взгляд, – это заблуждение. Не берёмся утверждать, что исключительно интересный и самобытный русский

художник К. С. Петров-Водкин не был знаком с идеями квантовой механики, но что он изучал и понимал влияние предметов друг на друга – это факт опубликованный в его книге «Пространство Эвклида» (1982). Вот несколько цитат из неё (приводятся без кавычек):

- И окажется тогда изолированный предмет, неузнаваемый по форме, если он пересекается или пересекает другой, и что его привычная форма такую нами воспринимается лишь по недоразумению, и наши представления о прямых и параллельных окажутся игрою детей в как будто бы.
- Тела при их встречах пересечениях меняют свои формы: сплющиваются, удлиняются, сферизуются, и, только с этими поправками перенесённые на картинную плоскость, они становятся нормальными для восприятия.
- Разновидность плотностей тел по-разному отражает изменения.
- Жидкости особенно нервно реагируют на встречи с предметами разных форм и плотностей: они откликаются отклонениями от горизонтов, вздутиями и вогнутостями своих поверхностей.
- Это в предметах, охватываемых одним углом зрения, что же касается пейзажных и городских объёмов, в них эти явления приобретают ещё больший кинетический смысл.
- Но, когда в среду, находящихся в покое предметов, ворвётся движущаяся форма, видимость становится неожиданной, бурной и при массе комбинаций всегда новой.

А несколько раньше он писал:

- Не смел я не доверять мастерам педагогики, но про себя думал: что-то здесь не так ... и не знал способа, который помог бы мне обозначить магическую иллюзорность вещи.

Хочется утверждать, что **принцип неопределённости универсален**. Он подводит нас к пониманию того, что любое вычленение объекта или явления, т.е. проведение его границы условно, что человек для решения своих задач пытается делить неделимое, он создаёт искусственные антиподы : белое-чёрное, добро-зло, верх-низ, живое- неживое и т. д., а *потом неумело ищет компромиссы*. Отсюда **многовариантность истины, даже больше – миражи истины**, ускользающий её характер. **Миражи Мира – это и есть его реальность**. На Мир надета шапка-невидимка. Вот в чём истина. Под эту шапку иногда попадаем и мы. Это игра в прятки. Природа с нами играет, причём она прячется, а мы ищем. И когда нам кажется, что мы нашли, найденное вдруг исчезает и нам никогда не удаётся выиграть. И, по-видимому, не удастся никогда, потому что не мы устанавливаем правила. Больше того, мы играем, не зная этих правил, а лишь пытаюсь о них догадаться в процессе игры. Таким образом, обсуждение понятия граница привело нас к общему принципу мироустройства:

**РЕАЛЬНОСТЬ ПРОЯВЛЯЕТСЯ В МИРАЖАХ.**

### Фундаментальные свойства границ

Дадим краткий обзор существующих представлений о границах внешних геосфер Земли и определим их фундаментальные свойства.

#### Океан – атмосфера.

В середине 70-х годов XX века на поверхности океана была обнаружена так называемая холодная плёнка. Увидеть её существование можно на рис. 6.4 как разрыв температурной кривой. Пленка была обнаружена при попытках прогнозировать ветровые движения гигантских нефтяных пятен, возникающих при аварийных разливах нефти в связи с разломами крупных танкеров. Оказалось, что так называемый закон Экмана (спираль Экмана) для таких прогнозов «не работает».

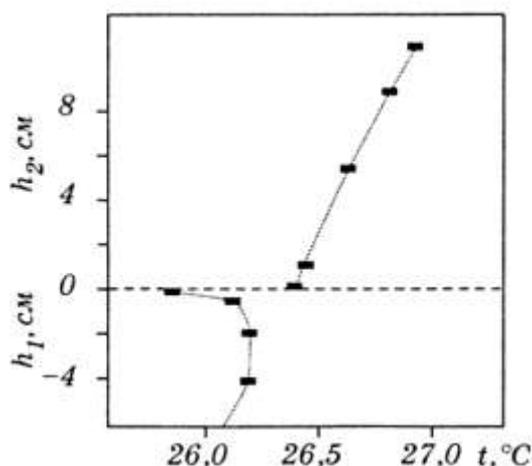


Рис.6.4. Изменение температуры воды и воздуха вблизи поверхности океана (по А.В.Шумилову, 1976).

Длина черточки определяет пределы колебаний температуры за время измерений (приблизительно 1,5 мин).

Толщина плёнки по различным показателям оценивается от 10-20 микрон до 1-2 сантиметров. Для неё характерен очень высокий температурный градиент (2-5 °C на 1 см) и неустойчивость водных масс. Для сравнения напомним, что в литосфере средний температурный градиент составляет около 3 °C на 100 метров глубины (см. гл. 4).

Тепловая и гидродинамическая структура этого тончайшего слоя резко отличается от остальных нижележащих слоёв. Это как бы «кожа океана». Она контролирует его вещественный и энергетический обмен с атмосферой. Холодная плёнка сохраняет океану жизнь.

Однако, при возбуждении поверхности океана, появлении на ней волн с гребешками пены на участках обрушения волн плёнка рвётся, хотя потом восстанавливается довольно быстро, всего за несколько секунд. В возникающих дырах все правила обмена резко изменяются. Обмен активизируется.

Теперь представьте себе бурю на море. Это огромное штормовое пятно. Оно всё в барашках волн: есть–нет, есть–нет... – мерцающие разрывы холодной пленки океана. Из маленьких дыр формируется огромная дыра-решето. Она как гигантское сито с перемещающимися и автоматически, то открывающимися, то закрывающимися ячейками.

На поверхности океана могут возникать дыры и другого рода, в виде смерчей и тропических ураганов. Они изучены довольно хорошо. Разработаны даже их математические модели как природных тепловых машин, в которых нагревателем являются относительно небольшие участки океана, а холодильником служит все окружающее пространство. Представление о структуре тайфуна дает рис.6.5.

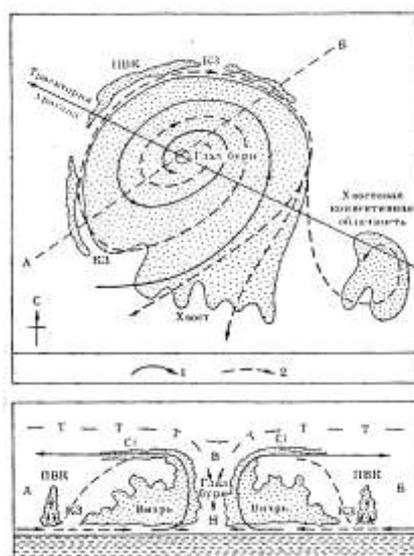


Рис.6.5. Схематическая модель тропического циклона (Герман, 1975).  
 1 – ветры в нижней атмосфере; 2 – ветры в верхней атмосфере; Т – тропопауза; С<sub>п</sub> – перистые облака; ПВК – полоса внешней конвекции; КЗ – кольцевая зона.

Средняя ширина тропических ураганов достигает нескольких сотен километров, а высота 6-15 км. Эта *природная тепловая машина* производит колоссальной интенсивности водообмен между океаном и атмосферой. Она засасывает почти до тропопаузы огромные массы водяного пара, суточный расход которого, судя по интенсивности сопровождающих ураган ливней, близок к годовой норме или даже в несколько раз превышает годовую норму осадков для средних широт.

Иллюстрацией работы такой «машины» могут служить наблюдения за ураганом «Элоиз» (сентябрь 1975 г.) Скорость его поступательного движения составляла около 30 км/час. Внутренние инерционные волны, вызванные им в водных массах океана, увеличили слой перемешивания с 20 до 60 м и спустя 8 суток достигли максимальной амплитуды (на глубине 500 м она составляла 65 м).

Температура поверхности океана в зоне действия этой «машины» понизилась на  $1,5^{\circ}\text{C}$  и в течение ещё двух суток сохранялась на  $0,5^{\circ}\text{C}$  ниже обычной.

Нетрудно увидеть, что тропические ураганы создают на поверхности океана дыры регионального масштаба с планетарным резонансом. В их образовании есть своя периодичность, пространственная привязка и физическая индивидуальность. Но всё равно, как и ранее, речь идёт о *разрывах границы*, возникающих при ее возбуждении, хотя уже не ветровом, а тепловом и более мощном, чем шторма и бури.

По своим масштабам и силе тропические ураганы чем-то напоминают извержения вулканов, только они выбрасывают пары воды, а вулканы в основном магму, пепел, газы и другой материал недр Земли.

### Суша – атмосфера.

В качестве аналога поведения холодной пленки океана на суше может быть рассмотрен процесс, получивший в геологии название *эрозионно-аккумулятивной деятельности* (см. Гл. 8).

Колебания температуры, атмосферные осадки, ветер, движение водных потоков, льда приводят в действие механизм, который в геологии называют эрозией земной поверхности. *Эрозия – размывание, разъедание*. Формируются рытвины, овраги, балки, речные и ледниковые долины, различного рода уступы и обрывы. При этом раскрываются находящиеся на глубине слои и геологические тела. Из них на поверхность земли вытекают подземные воды, вынося тепло, растворенные вещества и газы (рис.6.6).

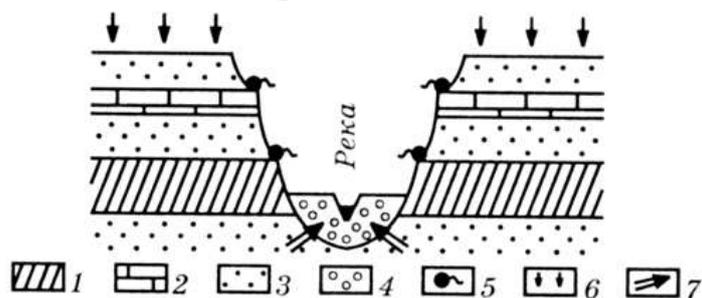


Рис.6.6. Иллюстрация речной долины в разрезе.

1 – водонепроницаемые породы (глины); 2 – известняки; 3 – пески и песчаники; 4 – отложения реки; 5 – источники (родники); 6 – атмосферные осадки; 7 – подземное питание рек.

По существу, вся овражно-балочная, речная и озерная сеть представляет собой сложную систему разрывов (дыр) в самом верхнем слое земной коры. Через них относительно неглубокие области недр нашей планеты взаимодействуют с атмосферой.

Эрозия обязательно сопровождается обратным процессом, называемым в геологии *аккумуляцией*, т.е. *отложением материала*. В

результате аккумуляции запечатываются прежние разрывы (дыры) на поверхности суши. Одновременно, в других местах формируются новые разрывы. Все это очень напоминает штормовое море. Только здесь нет физически реальных волн, и все протекает очень медленно и растянуто во времени. Это естественно, потому что здесь другая по параметрам граница (твёрдое тело), другой механизм её изменения. Но ... принцип сохранился прежний: *разрыв или дыра – есть - нет, ... есть, ... нет и так без конца.*

Внешние силы возбуждают границу. Она не выдерживает и, чтобы сохранить свое главное запретительное назначение, даёт возможность прорвать себя, но ... лишь местами, на отдельных участках. Уступая в частностях, проигрывая отдельные сражения, она выигрывает войну, обеспечивает своё существование. Ломается, но выживает, получает раны, но залечивает их.

Вулканизм это сложное и многообразное явление природы, с которым человек знаком, как говорят, с незапамятных времен. Но если о крупных ураганах прошлого мы можем судить лишь на основе исторических документов, то результаты прежней вулканической деятельности сохранила сама Земля. Хотя и на протяжении человеческой истории разрушительных для человека извержений было немало.

Для нашего разговора важным является то, что вулканическая деятельность Земли имеет определенную цикличность, связанную с активизацией недр, энергетическим их возбуждением, приводящим к возникновению новых и оживлению старых вулканических дыр в литосфере и выбросу через них расплавов, твердого материала, газов и паров. Представление о строении вулканов дает рис.6.7.

Рисунок показывает возникновение магмы в мантии и неглубоко расположенные резервуары, в которых накапливается магма, и которые периодически то увеличиваются в объеме, то сжимаются по мере нарастания и падения активности. Перед извержением лавы происходит подъем земной поверхности и увеличивается ее наклон во внешнюю сторону. После извержения происходит опускание и изгиб поверхности внутрь.

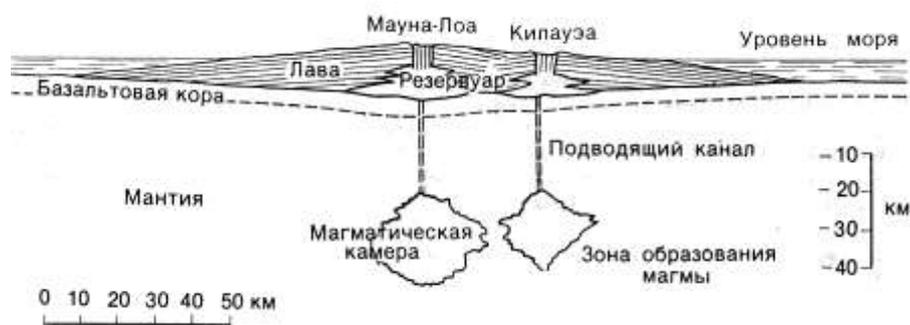


Рис.6.7. Гипотетический разрез через вулканы Мауна-Лоа и Килауэа на Гавайях (Аллисон, Палмер, 1984 г.).

Как и тайфуны, извержения вулканов – явление впечатляющее, для человека почти космическое. Оно завораживает своей первозданной мощью и ощущением нашей какой-то детской незащищенности перед Творцом (рис.6.8).



Рис.6.8. Крупное вулканическое извержение.

Извержение гейзеров также можно использовать в качестве примера образования разрывов в верхней части земной коры. Здесь, иной, чем у вулканов, механизм взаимоотношений между твердой корой Земли и атмосферой, но принцип тот же: дыра открывается, дыра закрывается. И причина прежняя – возбуждение приграничного слоя: нагрев, избыток пара и давления, снятие напряжения с помощью выброса излишков материала.

Возникновение глубинных напряжений в недрах Земли и их снятие имеют разнообразные формы и масштабы. Пожалуй, наиболее известный и грозный для человека механизм такой разрядки связан с *землетрясениями*. По этому вопросу существует огромная литература и, при желании, к ней всегда можно обратиться.

Здесь же, чтобы не выходить за рамки темы, я только укажу, что земная кора как верхняя часть литосферных плит буквально раздроблена на куски. Трещины и разломы в ней постоянно залечиваются, но затем либо опять открываются, либо являются свидетелями возникновения новых трещин и разломов в ближайших окрестностях. О масштабах развития современных землетрясений можно судить по рис.6.9, на котором точками показаны их эпицентры.

Представление о древней вулкано-тектонической деятельности на нашей планете может дать рис.6.10, на котором показаны так называемые *нуклеары* и крупные кольцевые структуры выделяемые в последние годы геологами на основе космических снимков, геолого-геофизических и геолого-морфологических данных. Это своего рода

каркасные элементы сложных кольцевых структур, обладающие центральной симметрией в плане и сформировавшие первые так называемые *сиалические ядра материков* (см. гл. 3.).

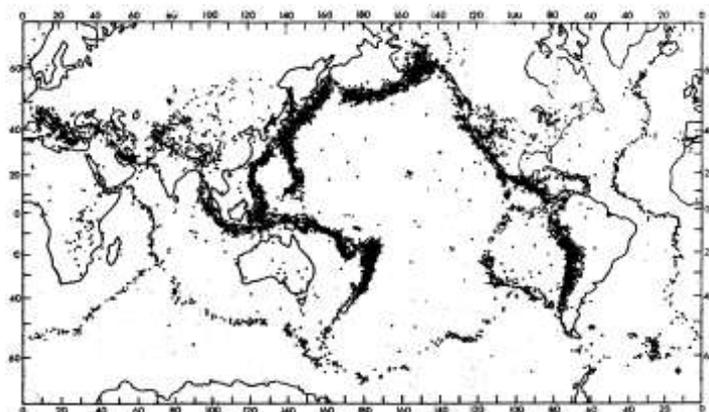


Рис.6.9. Сейсмическая активность Земли за период с 1962 г. по 1974 г.

В их происхождении и формировании еще много нерешенных вопросов. Тем не менее, я решился упомянуть о них, так как геологи «увидели» их на Земле после того, как космические аппараты обнаружили такого рода структуры на других планетах Солнечной системы.

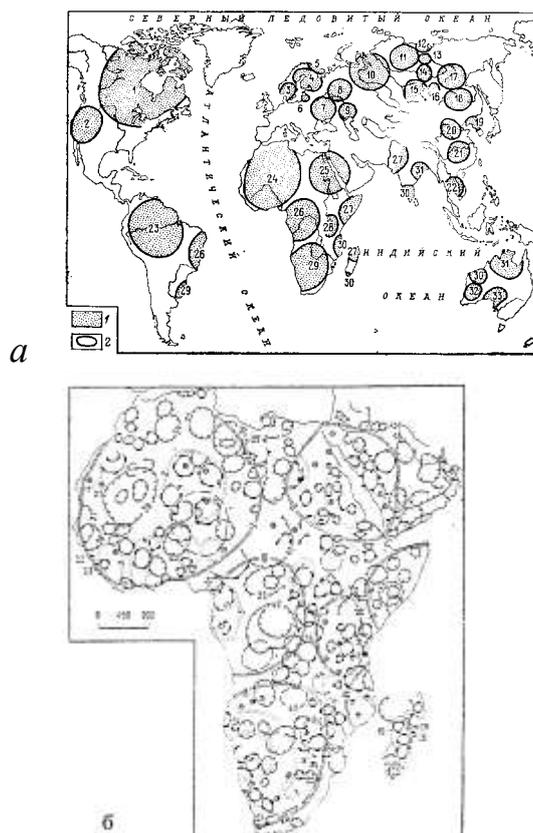


Рис.6.10. Расположение нуклеаров на континентах (а) и кольцевых структур Африкано – Аравийского региона (б) (условные обозначения не приводятся).

Таким образом, как и следовало ожидать, Земля развивалась по общепланетарным законам и её взаимоотношение с окружающим пространством, с праатмосферой, осуществлялось по кольцевым правилам, вероятно, по правилам возникновения дыр в границе. По-видимому, принцип формирования дыр является наследственным, и эта наследственность уходит своими корнями в глубины Вселенной:

- **Клапанный принцип функционирования границ универсален.**

Он работает не только в недрах и на поверхности Земли, но и в атмосфере: в слоях облачности, тропопаузе, страто - и мезопаузах (см. гл. 3).

Эта универсальность определена тем, что именно границы позволяют сосуществовать и проявлять себя в деле двум взаимоисключающим основам мироздания: *устойчивости и изменчивости*.

- Запретительные функции границ, их главное назначение – отделять системы друг от друга, обеспечивать их автономию и суверенитет, гарантировать индивидуальность.
- Вторая функция – разрешительная. Она обеспечивает саморазвитие систем и, значит, их существование тоже. Она дарует системам жизнь.

Замечательно, что это касается как живых систем, так и косных. Чтобы обеспечить свой жизненный статус система должна получать энергию или вещество, которое она в энергию перерабатывает. При этом обязательно возникают шлаки: это могут быть и магмы и газы и флюиды. Периодически система их сбрасывает за пределы своей границы. Например, недра Земли выбрасывают на поверхность лаву, обломки пород, пары и газы. Эти шлаки недр являются основой для формирования почв, а значит, обеспечивают жизнь растениям, животным и человеку. Растения употребляют углекислоту, а вырабатывают кислород. Кислород – это шлаки растений, но для животных и человека это то вещество, которое обеспечивает сгорание пищи (топлива) в их биологических котлах. Таких цепочек можно построить очень много. Суть их сводится к простому правилу:

- ***шлак и мусор одних систем являются основой жизни для других.***

Получает и отдаёт система через границу, через те её участки, которые способны лопнуть, открыться на какое-то время. В этом смысле и океан, и земная кора, и наш тонкий живой пограничный слой и лежащая над ним атмосфера устроены одинаково. Так же устроен и человек, и травинка, и дерево, и всё остальное.

**Общий вывод:**

- *любая граница является параметрической;*
- *границы проводятся под конкретную задачу на основании определенной договоренности (конвенции);*
- *фундаментальные свойства границ можно сформулировать как клапанный принцип: запрещать и разрешать, но разрешать не везде и не всегда.*

**6.2. Циклы.****Основные понятия**

1. **Цикл** – совокупность явлений, процессов, составляющая круговорот в течение определенного промежутка времени. В природе речь идёт обычно о квазициклах (почти циклах).
2. **Палеогеография** – география прошлых географических эпох.
3. **Резонанс** – возбуждение колебаний одного тела колебаниями другого той же частоты.

**Общие положения**

Циклы это основной принцип существования Мира. В самом общем виде он может быть сформулирован как *рождение – жизнь – смерть и снова рождение*. Даже звезды рождаются, живут и умирают (вспомните гл. 2).

Однако, всякий природный цикл не совершенен. Он не повторяется в чистом виде. *Повторяется лишь процедура*. Но, выражая эту процедуру в параметрах, т.е. конкретизируя идею повторения, мы легко заметим, что в этих повторениях скрыта тенденция к изменению.

Обращаясь к проблеме устойчивости и изменчивости, нетрудно понять, что *цикличность «работает» на устойчивость – это механизм устойчивости*. Противостоит же ей вектор развития. *Геометрический образ устойчивости* можно представить как *окружность*, а *геометрический образ изменчивости* – как *стрелу*. Здесь остается только поражаться гению Пьера Тейяра де Шардена, который свой знаменитый *универсум* построил на идее единой энергии, проявляющейся в двух составляющих: *скручивающей (тангенциальной) и радиальной*. П.Шардена современная наука не забыла, хотя и упоминает не часто. Но вся та громада литературы последнего десятилетия, которая посвящена вопросам цикличности, так или иначе, может быть легко оформлена как приложение к книге «Феномен человека» (1948 ÷ 1965, 1987 гг.). К сожалению, а может быть к счастью, и нам остаётся тот же путь: развивать идею радиального и тангенциального движений и восхищаться её автором.

Идею цикличности я сформулировал как круговорот жизни и смерти. Поэтому полезно обсуждение данной темы начать с модели этого явления.

Приведём компьютерную игру под названием «ЖИЗНЬ». Она хороша тем, что в ней кроме компьютера нет ничего материального. Здесь лишь чистая идея, воплощённая в алгоритм. Названа она «жизнью» только потому, что её результаты могут быть интерпретированы как события похожие на жизнь: рождение – существование – смерть. Эта игра придумана кембриджским математиком Дж. К. Конвеем и является одной из самых знаменитых математических игр. Мы приводим её по П. Эткинсу [1987].

Игра проводится на поле из квадратных ячеек в количестве 40x40, которое называется «вселенная Марк1». Это самая простая «вселенная». Не рассматривая её свойства, отметим лишь, что игра на её поле имеет всего два правила:

1. Рождение возможно в любой ячейке, но не более и не менее, чем при трёх соседях. Только при трёх соседях.
2. Смерть наступает от одиночества, если соседей становится меньше двух, или от тесноты, если соседей появляется более трёх.

Ближайшими соседями считаются восемь ячеек примыкающих к «зародышу»: соседи по сторонам квадрата и по его вершинам. П. Эткинс назвал «зародыш» по имени маленького пушистого зверька – леммингом.

Игра имеет много вариантов и, как правило, предсказать её ход практически невозможно. В игру надо сыграть. На рис. 6.11 показан фрагмент этой игры.

Первый «зародыш» (заданный) развивается и умирает, оставляя потомство. «Дети» повторяют цикл «родителя», после которого остаётся цветное надгробие. В приводимом случае вся процедура повторяется 30 раз. За это время последний потомок добирается до края «вселенной» и исчезает там бесследно. Но именно в это мгновение во «вселенной» появляется новый лемминг, будто феникс, рождённый из пепла и ... жизнь продолжается (*цикл возобновляется*).

Поколения целенаправленно двигались к краю «вселенной», оставляя за собой погосты. На краю «вселенной» исчезал последний лемминг, но *эта последняя смерть породила новую жизнь*. Обратите внимание, уже не лемминг рождает лемминга, а именно СМЕРТЬ выступает как начало ЖИЗНИ, ... но СМЕРТЬ без надгробия, СМЕРТЬ без конкретного ПРАХА. Если ничего не остаётся в прошлом, происходит воссоздание ... тоже как бы из ничего. *Новый «первоначальный зародыш» вынашивается не конкретным родителем, а в 30-ю поколениями пращуров.*

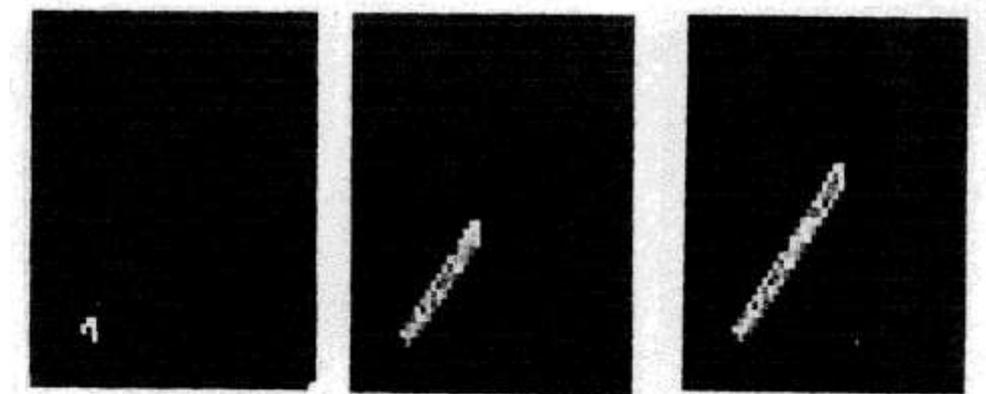


Рис. 6.11. Иллюстрация к игре «ЖИЗНЬ» (чёрно-белый вид).

Справа внизу – «зародыш» (лемминг). В центре и справа лемминг продвигается к краю «вселенной». Игра оформляется в цвете, и каждое предшествующее поколение отмечается своим цветом. Создаётся красивый цветной след из «надгробных камней».

В книге П. Эткинса есть компьютерная программа этой игры. Тот, кого она заинтересует, пусть найдёт эту книгу или какую-то другую, в которой эта игра рассматривается, и поиграет сам. Безусловно, вы глубже почувствуете не только её прелесть, но и смысл. *Конечно, это игра, но может быть и наша жизнь игра и игра не намного сложнее.*

Будет ли у нас последнее поколение? Если да, то когда и куда оно денется? Появится ли при этом *новый шестой день творения с мужчиной и женщиной или новый Адам? ... из всех нас – наших пращуров и потомков, не рождённый человеком, а из праха человечества.* Может быть, так уже было, и Великая книга просто донесла до нас этот факт, а сегодня компьютерные игры помогают нам его осознать, *от веры перейти к знанию, пока лишь игровому, но уже знанию. В этой игре вера сомкнулась с наукой.*

### **Галактические циклы**

Теперь обратимся к Космосу в современных его представлениях и рассмотрим галактические циклы Солнечной системы и Земли. Квантовая идеология развития нашей планеты, построенная на анализе её геологической истории за последние 600 млн. лет (фанерозой), привела к новой парадигме – галацентризму (см. гл.1). Напомним её суть:

1. Геологическое развитие Земли обусловлено получением энергии извне.
2. Эту энергию Земля получает порциями ( $10^{30} - 10^{31}$ ) Дж. за довольно короткие промежутки времени, (1 – 5) млн. лет.
3. Энергетические кванты возникают при прохождении Солнечной системой струйных потоков Галактики и связаны с падением на Землю комет и метеоритов, а также с близким пролётом звезд, изменяющих орбиту Солнца и Земли (см. гл. 2).

4. Периодичность получения квантов энергии соответствует периодичности прохождения Солнечной системой струйных галактических потоков.

Принципиальные для Земли геологические перестройки, зафиксированные в её истории как геологические события на границах периодов венд-кембрий, силур-девон, пермь-триас, юра-мел, четвертичный период. Скорей всего они обусловлены сильными деформациями тела планеты при смещениях или деформациях орбиты Солнечной системы в результате воздействия звёзд в струйных потоках – события более редком, чем поступление метеоритов и комет.

В соответствии с построениями А.Баренбаума [2002г., см. более ранние ссылки в гл.2] Солнечная система при своём движении вокруг центра Галактики периодически пересекает галактические струи, формирующиеся в результате выброса вещества из ядра Галактики.

Вещественные струи сконденсированы в газопылевые облака, кометы и звёзды. Процесс этот наиболее активно протекает *в местах пересечения струйных потоков с логарифмическими спиралями электромагнитного поля*. Именно эти места являются основными областями звездообразования.

Важно отметить, что и здесь проявляются *две основные тенденции мироздания – тангенциальные и радиальные*. Рождающиеся в местах звездообразования объекты ведут себя по-разному. Одни, возникающие в основном из вещества галактических струй, *продолжают движение в радиальном направлении и даже покидают пределы Галактики*. Другие, как наше Солнце, образуются преимущественно из газа и пыли, *улавливаемых логарифмическими спиралями, и, наследуя тангенциальную скорость этих ветвей, остаются в Галактике, со временем формируя свои собственные орбиты (см. гл. 2)*.

Опираясь на эти представления, А. Баренбаум построил модель *галактической цикличности развития Солнечной системы* и, в частности, Земли. Поставленная им задача выглядела следующим образом:

- Солнце движется вокруг центра Галактики в галактической плоскости и эпизодически пересекает струйные потоки вещества, выбрасываемого из её ядерного диска.
- Требуется найти все моменты таких пересечений.

Пример графического решения этой задачи приведён на рис. 6.12. Положение Солнца на нём при  $t = 0$  отвечает его удалению от центра Галактики в настоящий момент времени.

Нетрудно видеть, что все границы между известными геологическими периодами (см. гл. 5) совпадают с «моментами» пересечения Солнечной системой галактических струй. Замечательно и то, что на кривой

зафиксировано таких пересечений больше, чем геологических границ. Это говорит о том, что цикл А. Баренбаума обладает ещё и прогностическими возможностями. Практика наблюдений и методы расчленения геологических разрезов, вероятно, ещё недостаточно совершенны. Возможно, что новые подходы к решению геологических задач, *использование новых неевклидовых геометрий* приблизят геологическую практику к теории галактической цикличности.

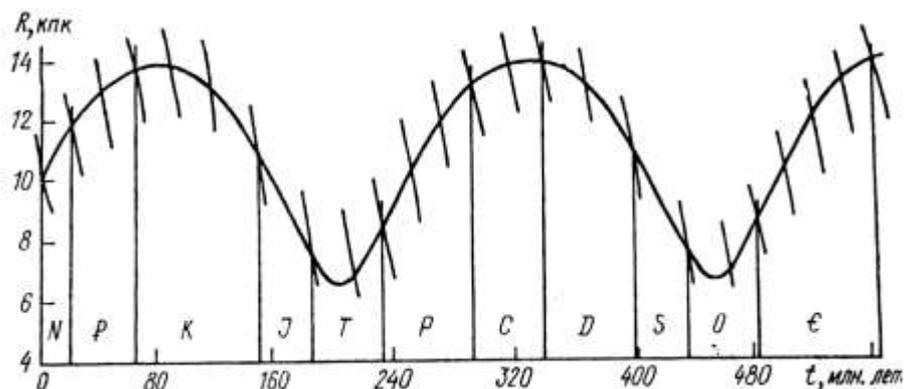


Рис. 6.12. Изменение расстояния Солнца от центра Галактики во времени (по А.Баренбауму, 2002).

*Точки пересечения периодической кривой с системой наклонных линий соответствуют моментам попадания Солнца в галактические струи; буквами обозначены геохронологические периоды.*

В самой модели А. Баренбаум выделяет сильные и слабые воздействия струйных, потоков, что существенно улучшает совпадение теоретических возмущений с известными наблюдениями и эмпирическими интерпретациями:

- кульминациями тектоно-магматических эпох и их основных фаз;
- началами раскола отдельных литосферных плит и формированием новых материков и океанических структур;
- планетарными трансгрессиями и регрессиями океана;
- периодами резкого изменения климата Земли;
- крупнейшими биологическими катастрофами;
- мощными геохимическими аномалиями.

По всем этим вопросам существует огромная литература, в которой тщательнейшим образом систематизируются наблюдения, строятся различные математические модели циклов, даётся их физическая интерпретация в связи, например, с такими известными явлениями как вращение Земли вокруг Солнца, гравитационное влияние луны, изменение солнечной активности, движение полюсов Земли и т.п. С основными результатами этих исследований каждый из вас может познакомиться самостоятельно. Хотелось бы только подчеркнуть своего рода наложенность различных циклов друг на друга, а также взаимосвязь и взаимообусловленность циклов внешне разобщенных.

### ***Производные циклы***

Длительные циклы состоят из циклов более коротких, последние – ещё более мелких и т.д. Вы легко поймете эту многослойность, вспомнив сезонные колебания, скажем, температуры воздуха:

- зима – весна – лето – осень – зима,
- в их рамках внутримесячные погодные колебания,
- затем суточные (ночь – день – ночь).

И всё это происходит на фоне значительно более длительных циклов потепления и похолодания.

Н.М.Фролов (1966 г.) приводит следующие оценки климатических циклов:

- По результатам инструментальных измерений солнечной активности: 2–3, 5–6, 9–14, 22–23, 40–45, 70–90 и 160–190 лет. Близкие значения климатической ритмики были получены и по результатам исследования ленточных глин в таких древних отложениях как юрские и девонские (соответственно удаленные от нас на 200 и 400 млн. лет).
- В плейстоцене (находится во временном интервале 10 тыс. – 2 млн. лет назад) выделены климатические ритмы с интервалами в 283, 567, 1133, 1700, 3040, 20400 и 40800 лет.
- Для более древних геологических периодов различными методами были зафиксированы климатические циклы длиной в 2 – 6 млн. лет, 30 млн. лет, 60 – 80 и 150 – 250 млн. лет.

Реконструкцию климатов в геологической истории Земли чаще всего производят на основе экологического принципа. Ископаемые остатки растений и животных оцениваются с позиций состояния окружающей среды, которая могла бы обеспечить существование того или иного биоценоза. Тепловой режим и влажность атмосферы, солёность водных бассейнов и т.д. и опосредованно вязанные с ними типы почв и подстилающих их горных пород (континентального или морского происхождения, возникших в условиях аридного или влажного климата), природная зональность и т.п. Иначе говоря, во всех случаях задача сводится к *палеогеографическим* построениям.

Геологическую ритмику климата хорошо иллюстрирует теоретическая кривая, описывающая периодичность смены тёплых и холодных эпох в истории Земли (см. рис. 6.13).

Короткую ритмику обычно связывают с причинами земного происхождения, такими, например, как радиоактивный распад, гравитационное сжатие и растяжение планеты, химические процессы, распределение суши и моря, состав атмосферы, перемещение полюсов, движение литосферных плит и т.п.

Длиннопериодную ритмику чаще всего пытаются объяснять причинами внеземного происхождения. Наиболее цельное представление здесь позволяет получить галацентрическая модель

(см.Гл. 1). Она касается не только объяснений климатической цикличности, она охватывает громадный спектр явлений определяющих устройство мира, в котором мы живём.



Рис. 6.13. Гипотетическая последовательность ледниковых и «теплых» периодов за последний миллиард лет. (Из книги «Зимы нашей планеты». М., Мир. 1982). Черные полосы показывают предполагаемую продолжительность ледниковых периодов.

### Геосферный цикл

Теперь рассмотрим особенности смены геосфер по их массе в направлении по радиусу Земли (см.табл.6.1). По данным этой таблицы построим график  $m(R)$ , который раскрывает нам удивительные вещи (см.рис.6.14):

**геосферы по массе создают геосферный цикл.**

Середина этого цикла (около 4,5 тыс.км) в табл.6.1 не зафиксирована и получена исключительно как продукт нашей интерпретации – продукт нашего желания сделать цикл красивым. Однако оказалось, что наше желание хорошо согласуется с данными по распределению величины силы тяжести вдоль радиуса Земли (рис.6.1).

На рис.6.15 показано изменение массы геосфер вдоль радиуса Земли.

Это обстоятельство (*изменение по радиусу*) в какой-то мере искажает нисходящую ветвь цикла, поскольку *радиус не тождественен времени возникновения геосфер*. Наверное, без особого ущерба для истины можно считать, что вторая фаза цикла возникновения геосфер протекала медленнее, чем первая (в силу увеличения дефицита исходного вещества конденсирующейся газовой туманности). В этом случае нисходящая ветвь, особенно в нижней своей части, сдвинется несколько вправо, что сделает нашу кривую ещё более изящной и более «взаправдошной». Хотя она и так достаточно хороша.

Таблица 6.1.

Структура Земли по массе геосфер.

Геосферы	Радиус $R \cdot 10^6$ , м	Мощность слоя, $\Delta R \cdot 10^6$ , м	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Масса геосферы m, $10^{22}$ , кг
Внутреннее ядро	1,25	1,25	17,0	14
Внешнее ядро	3,47	2,22	10,8	180
Нижняя мантия	5,37	1,90	5,24	252
Переходная зона	5,97	0,60	4,3	104
Верхняя мантия	6,33	0,36	3,45	59
Литосфера	6,37	0,04	3,35	7
Внешние оболочки (гидросфера, атмосфера, биосфера)	9,00	2–3	—	0,18

Примечание:

1. Поскольку мощность атмосферы с учётом диссипативного слоя оценивается в 2-3 тыс. км, принимаем внешнюю границу Земли (по веществу) приблизительно на расстоянии 9 тыс. км от её центра.
2. Из-за относительно небольшой массы внешних оболочек я объединил их. Такое право появляется и в силу их взаимопроникновения (вспомните яруса облачности, влажность воздуха, живую «ткань»).
3. Масса гидросферы  $17,2 \cdot 10^{20}$  кг взята по Р.Гаррелсу и Ф.Маккензи (1974 г.) с учётом поровых вод осадков.

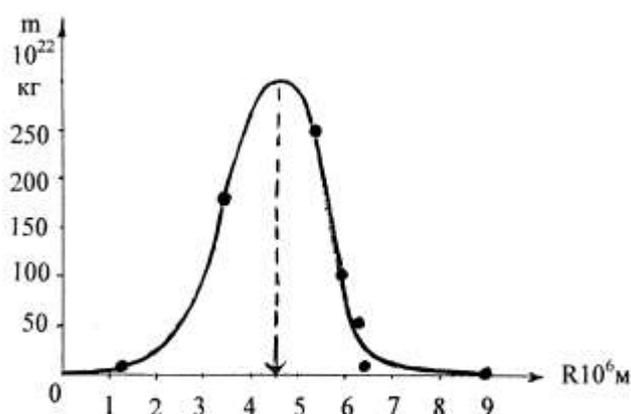


Рис. 6.14. Геосферный цикл Земли.

О чём говорит найденный геосферный цикл? Он символизирует жизненный цикл вообще, любой процесс, имеющий начало и конец.

*ЗЕМЛЯ ФОРМИРОВАЛАСЬ В ВИДЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО  
НАРАСТАЮЩИХ ОТ ЕЁ ЦЕНТРА ОБОЛОЧЕК.  
ЭТОТ ПРОЦЕСС ПРОТЕКАЛ В ВИДЕ ЦИКЛА:  
МАЛО ⇒ БОЛЬШЕ ⇒ МНОГО ⇒ МЕНЬШЕ ⇒ МАЛО.*

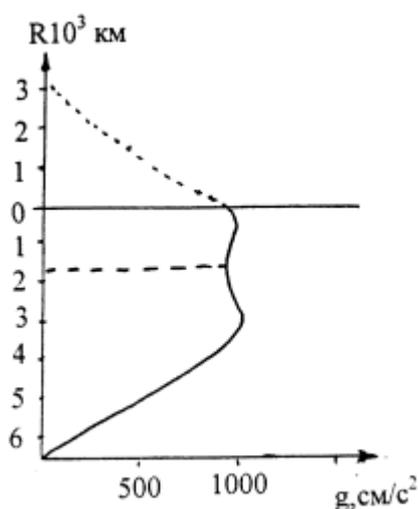


Рис. 6.15. Изменение ускорения силы тяжести ( $g, \text{cm/s}^2$ ) на планете Земля.

Геосферный цикл прекрасно вписывается в галактическую модель цикличности, позволяющей не только увидеть энергетическую зависимость Земли от процессов, происходящих в Галактике, но и понять физическую основу квантового характера её развития (см. Гл.1).

История Земли достаточно хорошо увязана с историей Галактики. Из многочисленных фактов согласованности галактических и земных событий приведём только один: *эпохи великих оледенений совпадают с эпохами активного звездообразования*. В эпохи же слабого звездообразования великие оледенения прекращаются. Этот факт можно объяснить как чередование эпох дефицита и эпох избытка энергозапаса в Галактике:

много новых звёзд – мало энергии для Земли;  
мало новых звёзд – избыток энергии для Земли.

Галактика развивается и на это развитие тратит запасы своей внутренней энергии. Но распределяются эти запасы по «особому графику»: *вначале одним, затем другим, ... но не всем сразу ... никогда всем сразу и, конечно, каждому «по рангу»*. Большим и важным, таким, например, как звёзды, даётся много. Малым, таким как Земля, – поменьше. А уж каждый получивший перераспределяет полученное по своему собственному внутреннему графику. Неправда ли, похоже на

систему финансирования и государственный бюджет? А вы, наверное, думали, что всё это придумал человек? Нет, всё это придумано задолго до человека.

### ***Истоки цикличности земных процессов***

Откуда получает энергию наша Галактика? Конечно, из Вселенной. Больше неоткуда, а галактики системы открытые.

Поэтому истоки цикличности земных процессов и событий естественно связывать не только с жизнью Галактики, но и с жизнью Вселенной. Интересные и, возможно, единственные в своем роде результаты в этом направлении были получены А.Е. Куликовичем (80–90-ые годы прошлого века, Киев). Он построил чрезвычайно красивую модель цикличности мира, положив в её основу идею музыкальной гармонии.

Им предложен периодический закон геологии, в соответствии с которым *основные геологические циклы образуют единую резонансно-взаимосвязанную систему*. Специальные исследования показали, что *эта система представляет собой фрагмент ритмической структуры Вселенной, охватывающей все уровни её организации – от микро-до мегамира*. По А.Е. Куликовичу Вселенная представляет собой иерархическую систему резонансно связанных процессов. В её ритмической структуре хорошо проявляются интервалы пифагорова строя (прима, кварта, квинта, октава). В этом смысле Вселенная звучит как гигантский оркестр. Наверное, её можно слышать, но, к сожалению, не нам.

### ***Общий вывод:***

*Вселенная «звучит». Её «звучание» проявляется в циклах, которые взаимодействуют по механизму резонанса.*

## **6.3. Круговороты природных вод.**

### ***Основные понятия***

- 1. Круговорот** – непрерывный замкнутый процесс циркуляции веществ на земной шаре, обусловленный солнечной энергией и энергией недр Земли.
- 2. Метеогенные воды** – это атмосферные воды (дождевые или снеговые и ледниковые).
- 3. Инфильтрационные воды** – образуются в недрах Земли в результате просачивания атмосферных осадков или поверхностных вод через поры и мелкие трещины в горных породах. К ним относится основная часть подземных вод, питающих реки и водоемы, т. е. участвующих в интенсивном водообмене в верхней части литосферы.
- 4. Инфлюационные воды** – образуются в результате втекания атмосферных и поверхностных вод через крупные трещины, воронки, провалы. Наиболее часто инфлюационные воды наблюдаются в карстовых районах.
- 5. Конденсационные воды** – образуются в недрах Земли в результате

конденсации водяных паров. Наиболее ярко проявляются такие воды в карстовых пещерах, подземных горных выработках.

6. **Седиментогенные воды** – формируются в процессе осадконакопления в водоемах и отжатия воды в фильтрующие прослойки. Иногда эти воды называют **реликтовыми** или **погребенными**, но последние термины менее удачны. Седиментогенные воды широко распространены в осадочных толщах артезианских бассейнов.
7. **Метаморфогенные воды** – образуются в процессе метаморфизма горных пород, часто сопровождающегося химическими реакциями с выделением воды. Формированию этих вод способствуют высокие температуры и давления.
8. **Магматогенные воды** – образуются в земной коре в процессе остывания магмы и отделения от неё летучих компонентов, в том числе водяных паров.
9. **Возрождённые воды** – образуются при дегидратации минералов, содержащих молекулы воды.
10. **Ювенильные (юные) воды** – понятие введено немецким геологом Э. Зюссом. Этим термином обозначаются воды, попавшие в литосферу из мантии. Они образуются из паров воды, ионов  $H^+$  и  $OH^-$  при подъёме магмы и при других глубинных процессах. *Могут быть отнесены к магматогенным.* Термином пользуются до сих пор.
11. **Геостатически-элизионный водообмен** («элизио», греч. – отжимаю) – отжатие вод из пластов горных пород под действием силы тяжести выше залегающих слоев (горного давления).
12. **Геодинамически-элизионный водообмен** – отжатие вод из пластов горных пород под действием динамических нагрузок, связанных с тектоническими движениями.
13. **Тектонические движения** – перемещения вещества в земной коре, вызывающие изменения формы залегания геологических тел и образование различного рода смещений.
14. **Серпентинизация** – изменение ультраосновных пород (*перидотитов* и др.) в результате развития *серпентина* по оливину и некоторым другим минералам.
15. **Геосинклиналь** – зона высокой подвижности, больших мощностей отложений и активного магматизма.
16. **Эвгеосинклиналь** – (приставка «эв», греч. указывает на полноту, совершенство) – наиболее подвижные, обычно внутренние части геосинклинальных областей, характеризующиеся высокой вулканической активностью.
17. **Миогеосинклиналь** – отличается от эвгеосинклинали отсутствием или слабым выражением начального магматизма, которая заменена стадией компенсированного прогибания.
18. **Метасоматоз** – процесс замещения одних минералов или горных пород другими с изменением химического состава при взаимодействии горной породы с расплавом, газовой фазой или растворами.

### **Общая идея**

В самом общем виде идея круговорота природных вод достаточно ясна:

- с акватории Мирового океана, озер, рек постоянно происходит испарение воды, которая конденсируется в атмосфере и, выпадая на поверхность материков и океана, вновь пополняет запасы гидросферы.

Общее уравнение водного баланса по этой схеме можно представить в следующем виде:

для Мирового океана

$$Z_M = X_M + Y, \tag{6.1}$$

для областей суши, имеющих сток в океан,

$$Z_C = X_C - Y, \tag{6.2}$$

для бессточных областей (БО)

$$Z_{Б.О} = X_{Б.О}, \tag{6.3}$$

где  $Z$  – испарение;  $X$  – осадки;  $Y$  – сток.

Просуммировав выражения (6.1) – (6.3), получим уравнение водного баланса для всего земного шара

$$Z_M + Z_C + Z_{Б.О} = X_M + X_C - X_{Б.О} \tag{6.4}$$

Числовые значения главных элементов общего годового водного баланса Земли представлены в табл. 6.2.

Круговорот природных вод явление сложное и многообразное. Сегодня его принято разделять два типа [2]:

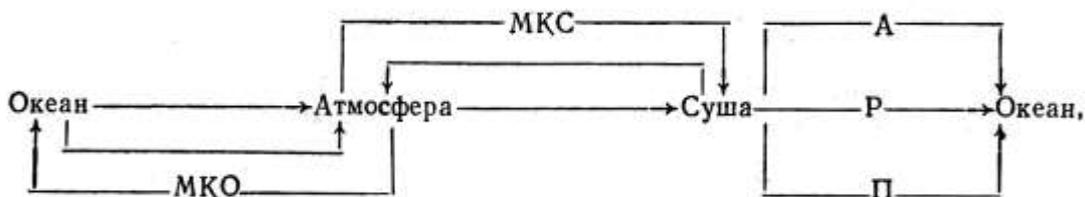
- **Климатический круговорот.** Он происходит в области между поверхностью Земли и тропопавзой. Обусловлен преимущественно метеорологическими факторами и оформлен в виде различных циркуляционных ячеек.
- **Геологический круговорот.** Пространственно приурочен в основном к литосфере. Обусловлен, главным образом, геохимическими, петрологическими и тектоническими процессами (см.Гл.3).

Таблица 6.2

Годовой водный баланс Земли [Львович, 1974]

Элементы водного баланса	Объем, км <sup>3</sup>	Слой, мм
Периферийная часть суши (116800 тыс. км <sup>2</sup> )		
Осадки	106 000	910
Речной сток	41 000	350
Испарение	65000	560
Замкнутая часть суши (32 100 тыс. км <sup>2</sup> )		
Осадки	7500	238
Испарение	7500	238
Мировой океан (361 100 тыс. км <sup>2</sup> )		
Осадки	411 600	1140
Приток речных вод	41 000	114
Испарение	452 600	1254
Земной шар (510 000 тыс. км <sup>2</sup> )		
Осадки	525 100	1030
Испарение	525 100	1030

**КЛИМАТИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ** можно представить в виде следующей схемы:



в которой А – означает атмосферный цикл, Р – поверхностный, П – подземный, МКО – малый круговорот океана, МКС – малый круговорот суши.

Структура климатического круговорота изучается достаточно давно. Однако в целом для Земли дифференцированного водного баланса по большому и малым круговоротам всё ещё не получено.

Наиболее сложным является большой круговорот. Он представляет собой *водообмен между океаном и сушей*. Вот его характеристика.

### **Атмосферный цикл**

Протекает по схеме:

океан → атмосфера → суша → атмосфера → океан.

Он очень непродолжителен, его время измеряется сутками. По М. И. Львовичу [1974], *круговорот водяного пара в атмосфере в среднем составляет 0,027 года*. Среднее содержание растворенных веществ в атмосферных осадках невелико:

- по В. И. Вернадскому – 34 мг/л,
- по В. М. Дроздовой (для территории СССР) – 21 мг/л.

Однако многократность атмосферного цикла в течение года обуславливает довольно интенсивный обмен водой между сушей и океаном.

Можно приближенно оценить атмосферный привнос растворённых веществ с суши в океан – порядка 600 млн. т/год и из океана на сушу – около 800 млн. т/год. Нетрудно определить модули этих величин: для суши 4, а для океана 2,2 т/(км<sup>2</sup>·год). Полученные цифры являются ориентировочными. Тем не менее, будучи основанными на средних значениях расчётных характеристик, они позволяют сделать два важных вывода:

- обмен веществом между океаном и сушей через атмосферный сток почти сбалансирован по валовому объёму;
- интенсивность сноса материала с суши почти в два раза превышает интенсивность переноса материала со стороны океана.

### **Цикл поверхностного стока**

Его можно изобразить в виде схемы:

океан→ атмосфера→ суша→ поверхностный сток→ океан.

Годовой объём речного стока в океан разными авторами оценивался по-разному.

- По Г. А. Максимовичу, для всей суши без пустынь и полупустынь он составляет  $34667 \text{ км}^3$ ,
- по О. А. Алекину –  $35560 \text{ км}^3$ ,
- по М. И. Львовичу –  $41\,000 \text{ км}^3$ .

Для территории СССР были проведены детальные работы по изучению водных ресурсов и водного баланса, которые позволили подсчитать не только водные ресурсы основных рек, но и водный баланс речных водосборов по бассейнам омывающих морей за многолетний период. Для характеристики этого цикла можно привести несколько цифр.

- Средний годовой суммарный речной сток в бассейны Белого и Баренцева морей составляет несколько больше  $284 \text{ км}^3$ .
- В бассейн Балтийского моря (СССР) – около  $120 \text{ км}^3$ ,
- Черного (СССР) и Азовского – около  $104 \text{ км}^3$ ,
- Каспийского –  $295 \text{ км}^3$ .

При этом доля поверхностного стока колеблется от 36 до 94 %, в среднем составляет 70-75 %. По М. И. Львовичу, в речном стоке доля поверхностных вод для всей суши равняется приблизительно 68 %.

По продолжительности цикл поверхностного стока можно отнести к числу мобильных, его *время измеряется сутками и десятками суток (длительность паводков и половодий)*. М. И. Львович интенсивность полного водообмена поверхностного стока оценивает *в среднем для земного шара приблизительно в 0,033 года*.

По О. А. Алекину, средняя минерализация вод речного стока равна 89,2 мг/л, а ежегодный вынос в океан растворенных солей достигает 3171 млн. т. Принимая, что в речном стоке на долю подземных вод приходится 32 %, годовой поверхностный сток в океан можно оценить приблизительно в  $24200 \text{ км}^3$ , а количество выносимых с ним солей 900 млн. т или  $6 \text{ т}/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$ , если принять среднюю минерализацию подземных вод, питающих реки, 200 мг/л (по В.И. Вернадскому).

### **Цикл подземного стока**

Под циклом подземного стока следует понимать процесс водообмена между океаном и сушей, протекающий по схеме:

океан→ атмосфера→ суша→ инфильтрация в горные породы→  
подземный сток в реки и вместе с поверхностными водами в океан (или  
непосредственно в море).

Годовой объем подземного стока для земного шара в целом не подсчитывался. Однако о порядке этой величины говорить можно.

- По М. И. Львовичу, подземный сток через реки составляет  $12000 \text{ км}^3/\text{год}$ .
- По данным О. А. Алекина приблизительно  $11\,360 \text{ км}^3/\text{год}$ .

Непосредственный сток подземных вод в Мировой океан, т. е. *сток вдоль береговой линии и на шельфе*, в среднем составляет около 2 % притока речных вод и изменяется по ориентировочным оценкам от 800 до  $2500 \text{ км}^3/\text{год}$ . Были проведены и более точные дифференцированные оценки по континентам, островам, отдельным морям. Результаты оказались близки  $2400 \text{ км}^3/\text{год}$ , в том числе по континентам  $1485 \text{ км}^3/\text{год}$ , а по крупным островам  $915 \text{ км}^3/\text{год}$ .

*Продолжительность подземного цикла значительная.* В настоящее время накопились данные, которые показывают, что продолжительность цикла подземного стока в различных физико-географических и геологических условиях чаще всего *измеряется десятками и сотнями лет*.

Химический состав и минерализация вод, участвующих в цикле подземного стока, довольно пестрые, но изменяются более или менее закономерно в зависимости от физико-географических, геологических и гидродинамических условий. Средняя минерализация подземных вод, разгружающихся в моря и океаны, может быть оценена по данным меженного стока рек и составляет примерно  $200 \text{ мг/л}$ . Суммарный вынос солей при этом достигает  $1300 \text{ млн. год}$ .

В цикле подземного стока поступление вод в моря и океаны может происходить разными путями. Часть подземных вод участвует в речном стоке, значительное количество переносится в виде подрусловых аллювиальных потоков, часть разгружается в виде источников или фильтруется широким фронтом вдоль линии берега на различных глубинах при выклинивании водоносных горизонтов в пределах шельфа или материкового склона.

Переуглубленные речные долины, заполненные песчано-гравийным и галечным материалом, являются мощными дренами для окружающих водораздельных массивов. Эти дрены конусами выноса главных рек обрываются в море. Основной особенностью этой разгрузки является одновременное проникновение морских вод в сторону суши в виде языка, подстилающего поток пресных вод и выклинивающегося на определенном расстоянии от линии берега. Это расстояние зависит от

напора вод суши и соотношения плотности морской и подземной воды. Понижение уровней подземных вод на суше или повышение уровня в море (при нагонных ветрах, приливах, штормах) усиливает проникновение морских вод в сторону суши (иногда до десятков километров). Явления такого рода наблюдаются не только в подрусловых потоках, а имеют более широкое развитие и при соответствующих условиях могут наблюдаться на всех прибрежных территориях.

Существует прямое воздействие океанических приливов и отливов на подземные воды суши. Влияние амплитуды океанических приливов на уровень подземных вод вблизи берега оценивается в 30-50 % от общей амплитуды изменения уровня, а на территориях, удаленных от моря, в 1–3 %. Каждый прилив и отлив вызывает некоторое запаздывание колебания зеркала подземных вод на прилегающей к морю суше.

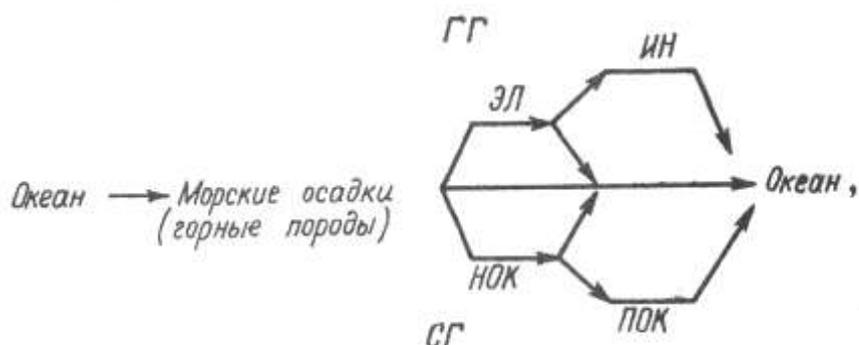
В прибрежных районах, сложенных закарстованными горными породами, разгрузка подземных вод в море обычно происходит в виде *субмаринных* источников (*источников под уровнем моря*). Такие источники известны на Черноморском побережье Кавказа, в Крыму, на Средиземноморском побережье. Наблюдения, проведенные на субмаринных источниках, показывают, что многие из них функционируют со значительными перерывами. Они иссыкают в засушливое время года, когда питание за счёт атмосферных осадков практически прекращается. Тогда напоры подземных вод со стороны суши уменьшаются настолько, что подземный поток не может преодолеть встречного напора морских вод. В таких случаях морская вода может проникать в пределы суши на значительные расстояния и засаливать подземные воды на участках водозаборов.

Краткое рассмотрение основных циклов климатического круговорота воды позволяет говорить о наличии у них, по крайней мере, двух главных общих черт:

- Одинакового начала циклов: океан→ атмосфера→ суша, обуславливающего обязательное участие в водообмене атмосферных осадков океанического происхождения.
- Формирования химического состава вод, участвующих в климатическом круговороте, главным образом в результате процессов растворения и выщелачивания с частичным концентрированием за счет испарения.

Отличаются циклы лишь завершающей стадией, приводящей во всех случаях к возвращению океанических паров в океан.

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ** можно представить в виде схемы:



где ГГ – гидрогеологический цикл; ИН – инфильтрационный этап; ЭЛ – элизионный этап; СГ – собственно геологический цикл; НOK – этап новообразования океанической коры (серпентинизация перидотитов, блуждающая циркуляция в рифтовых областях, подводный вулканизм); ПOK – этап погружения океанической коры (литификация осадков, метаморфизм, гранитизация, метасоматоз, десерпентинизация).

Рассмотрим эту схему более подробно.

### **Гидрогеологический цикл**

Понятие гидрогеологического цикла было впервые предложено и сформулировано А. Н. Семихатовым, который относил к нему условия и процессы изменения солевого состава вод в промежутки времени между двумя следующими друг за другом трансгрессиями морских бассейнов, разделенных периодами складчатости и поднятия. В настоящее время в каждом гидрогеологическом цикле выделяются два этапа:

- элизионный и
- инфильтрационный.

На первом этапе происходят осадконакопление и тектоническое погружение, сопровождающиеся *геостатически-элизионным и особенно геодинамически-элизионным водообменом*, т. е. выжиманием седиментогенных вод из водоупоров (глин, соленосных толщ, известняков и т. д.) в пласты коллектора (пески, песчаники, трещиноватые известняки и т. д.). При поднятии бассейна осадконакопления происходит денудация водоупорных и водоносных слоёв и наступает второй этап гидрогеологического цикла – *инфильтрационный*, на котором метеогенные воды проникают в глубокие горизонты и постепенно заменяют воды седиментогенные. Однако такая замена обычно является неполной. Среди инфильтрационных вод спорадически сохраняются остатки древних седиментогенных вод, сами же инфильтрационные воды не просто вытесняют седиментогенные, но смешиваются с ними, образуют языки проникновения. После нескольких гидрогеологических циклов гидрогеологическая обстановка в системе

вода-порода становится чрезвычайно сложной.

Позже эта схема была дополнена процессами, связанными с метаморфизмом погружающихся пород и сопровождающей его дегидратацией минералов, а также возможностью появления в этих толщах магматогенных вод (при внедрении магматических очагов и проявлением вулканизма). С учётом этих явлений гидрогеологический цикл стали называть *литогеническим*.

Наиболее важная особенность гидрогеологического цикла заключается в том, что поступление океанических вод на континент происходит вместе и одновременно с поступлением самих пород по схеме:

океан→ морские осадки (горные породы).

В этом отношении гидрогеологический (литогенический) цикл является элементом развития континентальной коры, и его связь с климатическим круговоротом представляется естественной.

### ***Собственно геологический цикл***

Этот цикл связывают со схемой движения океанического дна и системой конвективных потоков в верхней мантии, разработанной в современной теории плит. В соответствии с этой теорией океаническая кора и подстилающая её мантия в пределах отдельных блоков каждой конвективной ячейки перемещаются с одинаковой скоростью как единое целое от срединных хребтов и возвышенностей к обрамляющим океаны континентам (см. главы 3 и 7). Различие в скоростях перемещения отдельных блоков приводит к образованию крупных разломов между ними. На нисходящей ветви движения блоки погружаются под континенты, при этом происходит сильная деформация коры. В более глубоких областях мантии существует конвективный поток вещества противоположного направления (к срединным хребтам и возвышенностям) (рис. 6.16).

Теория плит наиболее интересна для модели круговорота потому, что в предлагаемом ею круговороте вещества коры и мантии можно ожидать участие морской воды. Материал мантии, поднимаясь к поверхности в зоне срединных хребтов возвышенностей, способен взаимодействовать с морской водой, образуя *серпентинизированный перидотит*. На нисходящей ветви движения происходит *десерпентинизация*, и вода возвращается в океан.

Таким образом, если следовать этой схеме, то собственно геологический круговорот совершается по некоторой пологой дуге от центральных районов океанов к их периферии, при этом морская вода переносится как бы в «законсервированном» виде. Анализ этого процесса позволил А.Н. Павлову [1977] оценить темп водообмена (около

0,2 км<sup>3</sup>/год), что существенно меньше всех циклов климатического круговорота воды.

Однако участие морской воды в серпентинизации перидотитов некоторыми специалистами отрицается. Вместо морской воды в их схемах участвует мантийная вода,двигающаяся из глубин.

Но водообмен, связанный с серпентинизацией, не является единственной составляющей собственно геологического цикла. Литосфера океанического типа содержит  $1,8 \cdot 10^{17}$  м<sup>3</sup> вод, свободных и физически связанных, которые в соответствии с теорией плитной тектоники перемещаются вместе с корой в сторону континентов и погружаются под них на участках глубоководных желобов. Вероятно, часть этих вод принимает участие в формировании гранитной коры континентов и возвращается в океан в соответствии с моделью климатического круговорота лишь при выходе этой коры на поверхность материков и через вулканический аппарат: то, что у С. Л. Шварцева названо магматогенной формой движения воды.

Другая часть вод может вовлекаться в обратные подкорковые течения и возвращаться в океан в зонах срединных хребтов и возвышенностей и через подводные извержения с магмами. Принимая время этого водообмена, равное возрасту современных океанов, ориентировочно оценивается темп этого водообмена – около 1 км<sup>3</sup>/год.

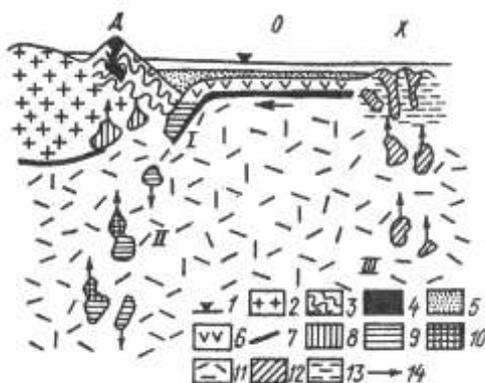


Рис. 6.16. Схема обновления океанического дна и процесс преобразования базальта в эклогит (по Х. Хессу, в интерпретации А. Э. Рингвуда и Д. Х.Грина (1968 г.)

1 – уровень океана; 2 – континентальная кора; 3 – складчатость геосинклинали; 4 – вулканы с андезитовой лавой; 5 – осадочный и базальтовый слой; 6 – океанический слой; 7 – граница Мохо; 8 – интрузии магм кислого и среднего состава; 9 – эклогит; 10 – андезитовая магма; 11 – мантия (пиролит); 12 – базальтовая магма; 13 – остаточный перидотит; 14 – направление движения океанического дна, блоков эклогита и образующихся магм.

I–III – зоны: I – перехода базальта в эклогит,

II – погружающихся блоков эклогита,

III – частичного плавления пиролита.

Д – островная дуга; О – океан; Х – срединно-океанический хребет.

PS. **Андезит** – порода среднего состава. **Пиролит** – гипотетическая исходная порода верхней мантии. **Эклогит** – горная порода глубинного происхождения.

Таким образом, в соответствии с современными представлениями теории плит целесообразно говорить о двух этапах собственно геологического цикла круговорота воды:

- **этапе новообразования океанической коры**, территориально связанном с зоной срединно-океанических хребтов и обусловленном процессами серпентинизации перидотитов, блуждающей циркуляцией вод в рифтовых областях, их метаморфизмом и вулканической деятельностью;
- **этапе погружения океанической коры**, протекающем в зонах глубоководных желобов и эвгеосинклиналей благодаря процессам литификации мощных осадочных толщ, их метаморфизму, гранитизации, процессам метасоматоза, десерпентинизации, происходящих при погружении океанической коры.

Общими чертами двух циклов геологического круговорота воды являются:

- их начало по схеме океан→ морские осадки (горные породы);
- длительность в миллионы и сотни миллионов лет;
- сложное взаимодействие вод и пород в условиях значительных глубин.

Так же как и циклы климатического круговорота, гидрогеологический и собственно геологический циклы отличаются лишь завершающей стадией, на которой можно различить два разнонаправленных этапа.

Общая схема всех циклов круговорота воды показана на рис. 6.17.

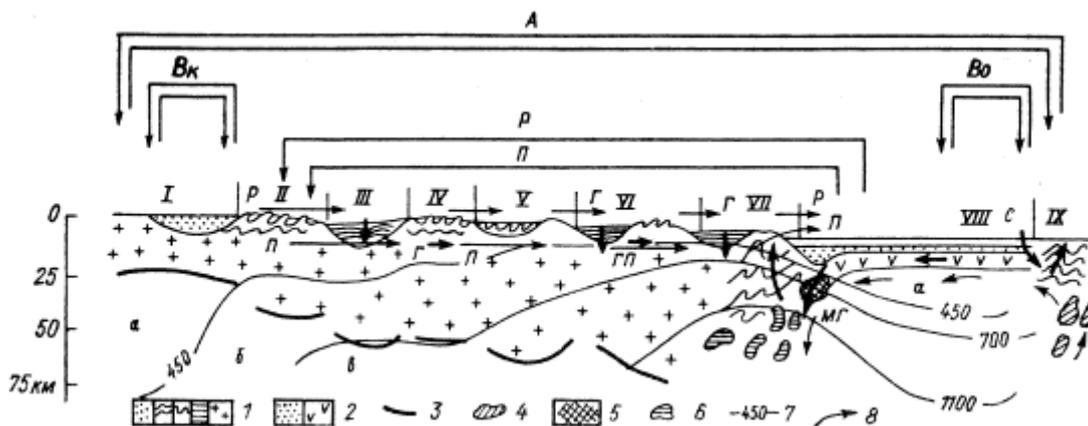


Рис. 6.17. Общая схема основных циклов круговорота воды на Земле.

Условные обозначения к рис.6.14:

I – щит и платформа, докембрий; II – складчатая зона, PZ; III – краевой прогиб, MZ; IV – складчатая зона, MZ; V – миогесинклиналь, MZ; VI – эвгеосинклиналь, KZ; VII – островная дуга; VIII – океаническая платформа; IX – срединно-океанический хребет.

1 – континентальная кора; 2 – океаническая кора; 3 – поверхность Мохо; 4 – базальтовая магма; 5 – эклогит; 6 – андезитовая магма; 7 – изотермы, °С; 8 – конвективное движение мантийного вещества.

а – в – зоны; а – твердых и жидких структурированных вод, б – уплотнённого флюида с разупорядоченной рыхлой структурой, в – мономерных молекул воды; А – атмосферный цикл; Вк – внутриконтинентальный цикл; Во – внутриокеанический цикл; Р – цикл поверхностного стока; П – цикл подземного стока; Г – гидрогеологический цикл; С – этап новообразования океанической коры; МГ – этап погружения океанической коры.

К рассмотренным циклам и этапам на нём добавлено еще два: внутриконтинентальный и внутритрокеанический, известные в литературе как две формы малого круговорота. Однако они не имеют большого геологического значения, так как сводятся по существу к схеме испарение–конденсация–осадки.

**Общий вывод:**

*типы, циклы, этапы и фазы общего круговорота воды на Земле характеризуют механизмы перемещения воды между различными группами гидросферы, внутренняя динамика которых изучается специальными науками: метеорологией, гидрологией, гидрогеологией и геологией.*

#### 6.4. Тепловые машины Земли.

**Основные понятия**

1. **Тепловая машина** – механизм, превращающий тепло в работу. Основными узлами такой машины являются нагреватель и холодильник.
2. **Муссоны** – ветры, периодически меняющие свое направление в зависимости от смены времен года. Наблюдаются в основном в тропическом поясе.
3. **Барическое поле** – распределение атмосферного давления в пространстве. Изменение этого поля во времени создает *барические волны*.
4. **Тектоносфера** – оболочка Земли, охватывающая земную кору и верхнюю мантию, в которой происходят тектонические процессы, обуславливающие вертикальную и горизонтальную неоднородность состава и физических свойств масс.
5. **Конвергенция, дивергенция** – соответственно схождение и расхождение. В этом разделе речь идёт о схождении и расхождении векторов напряженности гравитационного поля Земли.
6. **Эпейрогенические колебания** – медленные вековые поднятия или опускания обширных площадей, на вызывающее изменение их структуры.
7. **Сейши** – стоячие волны.

**Атмосферные машины**

Пожалуй, впервые мысль о тепловых машинах Земли сформулировал в науке выдающийся французский физик Ф.Д. Араго (1829 г):

Атмосферная машина для выкачивания воды представляет снаряд безукоризненный, и прерывистость его действия не представляет никаких неудобств.

Через 100 с лишним лет эту идею развил крупнейший русский океанолог академик В.В. Шулейкин, который построил несколько моделей таких машин применительно к границе океан-атмосфера-суша.

*Машины первого рода* являются наиболее крупными. В качестве нагревателя в них работают тропические пояса Земли с положи-

тельным бюджетом тепла, а в качестве холодильника – высокоширотные области, в которых тепловой бюджет отрицательный. Термобарические колебания и соответствующий им массоперенос воздуха и воды имеют здесь субмеридиональное распространение.

Машины второго рода – это уже механизм регионального порядка. В холодное время года нагревателем в них служат наиболее тёплые области океана, а холодильником – материка. В тёплое время года ситуация меняется на обратную. Исключением являются лишь Антарктида и Гренландия, которые из-за мощного материкового оледенения выполняют функции холодильника круглый год. Работа машин второго рода в значительной мере *определяет муссонную циркуляцию*, при этом подстилающая поверхность воздействует на нижний слой атмосферы мощностью до 4–5 км, а тепломассоперенос и распространение барических волн характеризуются субширотным направлением. Потoki атмосферной влаги связаны с определенными источниками и стоками планетарного масштаба расположенными в пределах как океанов, так и суши. Эти потоки представляют собой области квазизамкнутых циркуляций. Тепловые машины второго рода генерируют колебательные процессы переменного знака и определяют так называемую муссонную циркуляцию.

Машины третьего рода формируют циркуляционные ячейки уже за пределами тропопаузы. По В.В. Шулейкину их работа обусловлена воздействием теплового излучения на воздушные массы стратосферы. В этих машинах круглый год нагреватель расположен над материком, а холодильник – над океаном.

Машины четвертого рода также участвуют в формировании зональных потоков, но другого характера. Их работа связана с тем, что охлаждение стратосферы над экватором является более сильным, чем над высокоширотными поясами Земли. Таким образом, для этих машин высокоширотные пояса Земли служат нагревателями, а тропический пояс – холодильником. В результате, в стратосфере возникают зональные потоки противоположные по направлению зональным потокам в тропосфере.

В машинах пятого рода, нагревателем являются особенно нагретые участки океана, а холодильником – все окружающее их пространство. Это тропические ураганы. О них мы говорили в разделе 6.1, когда обсуждали особенности устройства геосферных границ. Посмотрите еще раз рис 6.5 и объяснения к нему.

С позиций работы тепловых машин может быть объяснен и феномен

появления облачности. Аномально нагретый участок океана продуцирует восходящее движение воздуха и влаги. На определенной (термодинамически критической) высоте влага конденсируется (*работа холодильника*). Возникшая облачность экранирует поступление солнечной радиации, нагреватель «остывает», облачность рассеивается – машина переходит на холостой ход (её КПД резко снижается). Затем происходит новое возбуждение вызванное поступлением свежей порции тепловой энергии и т.д.

Названные тепловые машины, взаимодействуя, создают чрезвычайно сложную картину функционирования верхних геосфер.

### ***Тектоносферные машины***

Вслед за метеорологами и океанологами интерес к тепловым машинам Земли начали проявлять геофизики и геологи. Анализ связей между аномальными значениями плотности теплового потока нашей планеты и аномальными (по отношению к сфероиду) областям геоида позволил обсуждать возможные *тектоносферные аналоги* тепловых машин В.В. Шулейкина. А.Н. Павловым были предложены три таких аналога [1990].

*Аналог машин первого рода.* В отличие от атмосферных машин этого рода нагреватели и холодильники имеют здесь не субширотную, а субмеридиональную поясность. При этом можно говорить о четырёх крупных конвективных ячейках в верхней мантии, в основном, вероятно, в слое, который называется *астеносферой* (см. гл. 3). Поскольку геоид – одна из эквипотенциальных поверхностей гравитационного поля, векторы напряженности которого направлены к источнику, можно считать, что в областях положительных аномалий геоида будет происходить *конвергенция* потока вектора напряженности. В областях же отрицательных аномалий должна наблюдаться *дивергенция*. Это означает, что в первом случае можно говорить об уплотнении масс, а во втором – о разуплотнении.

В зависимости от того, протекает ли этот процесс в данное геологическое «мгновение» или он прекратился, могут быть сделаны различные выводы о связи гравитационного и теплового полей Земли.

Четвертичный период, в котором мы живём (см. раздел 5.2 в гл. 5), относится к активной эпохе геологической истории Земли и как будто развивается в соответствии с *неомобилистскими* моделями. Об этом свидетельствуют геодезические измерения дрейфа *литосферных плит* (см. главы 3 и 7), характер магнитных аномалий в зоне океанических хребтов и другие факты. Если это так, то работу *тектоносферной тепловой машины первого рода* можно изобразить в виде четырех крупномасштабных ячеек тепловой конвекции в верхней мантии (см. рис. 6.18).

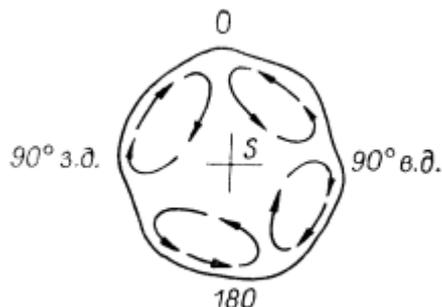


Рис.6.18. Схематический разрез геоида по экватору со стороны южного полюса [Павлов. 1990].

Стрелками показана конвекция в верхней мантии.

Таким образом, можно говорить о структурной общности внешних и внутренних тепловых машин первого рода для нашей планеты. Любопытно, что и по КПД эти феномены близки: (1,7-2,0)% у атмосферных машин и (0,1-1,0)% – для тектоносферных.

*Аналоги машин второго рода.* Анализ распределения положительных и отрицательных аномалий геоида показывает, что близкие абсолютные значения этих аномалий располагаются симметрично и могут быть объединены в пары. Каждая пара таких сопряженных аномалий естественным образом оконтуривается линией близкой к окружности. Эти структуры очень похожи на термобарические сейши В.В. Шулейкина (см. рис. 6.19 и 6.20).

Правда, на рис.6.20 квазиокружности тектоносферных сейш больше похожи на эллипсы. Но не следует забывать, что координатная сетка на приведённой иллюстрации прямоугольная, что сильно вытягивает размеры объектов в средних и высоких широтах.

Напомним, что сейшевая модель муссонной циркуляции у В.В. Шулейкина двухслойная. Слои между собой не взаимодействуют. Нижний считается активным, верхний пассивным. Сейши вращаются против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой – в южном. Нетрудно понять, что идея этой модели вполне подходит и для конвективных ячеек тектоносферы.

Геологическим следствием существования тектоносферных сейш должны быть эпейрогенические колебания земной коры, разворот литосферных плит при их раздвижении, а также определенный характер их раскалывания. Это предположение может быть использовано в целях прогноза и, вообще говоря, проверяется геологическими методами.

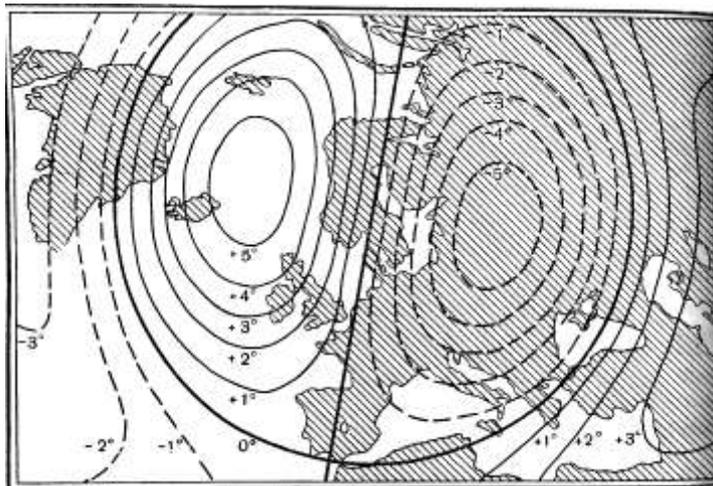


Рис. 6.19. Теоретическая схема термобарических сейш (по В.В. Шулейкину [1968]).

Если вращение сейш в северном и южном полушариях происходит в разные стороны, то на экваторе теоретически никакого вращения не должно быть, а к более высоким широтам момент крутящих сил должен возрастать. Поэтому в сейшах, расположенных по обе стороны экватора, особенно если такое разделение несимметрично, будут возникать напряжения очень сложные по знаку и величине. В области (+24, – 23) (см. рис. 6.20) в экваториальной полосе на западе должны появляться сжимающие усилия, а на востоке – растягивающие. Схема О.И.Слензака как будто отражает именно такие тенденции (рис. 6.21).

Приводимые рассуждения не детализированы. Обсуждаются лишь принципиальные возможности использования модели атмосферной тепловой машины типа термобарических сейш для изучения и объяснения тектоносферных процессов. Создается впечатление, что такие аналоги могут иметь место.

Обращение к таким аналогам принесет бесспорную пользу, так как формирует вполне конкретный подход к известным геологическим фактам и позволит применить в геологии уже разработанные математические схемы и решения. Появляется возможность перейти и к аналоговому моделированию, если не основных, то хотя бы вспомогательных задач. Проверка же и уточнение сейшевых моделей тектоносферы должна заключаться не только в анализе традиционной геологической информации, но и в попытках количественной оценки различных параметров тех или иных составляющих тектоносферы, например, вязкости, средних коэффициентов теплопроводности и т.д.

Сегодня еще трудно сказать, к машинам какого рода, второго или третьего, тектоносферные сейши ближе. Если тектонический цикл удастся уподобить астрономическому году и окажется, что распределение в нём внутреннего тепла Земли обуславливает различное нагревание сейшевых полюсов, тогда появятся основания считать *тектоносферные сейши машинами второго рода*. Если же

температурные аномалии сейшевых полюсов имеют постоянный знак, то более близким аналогом будут *атмосферные машины третьего рода*.

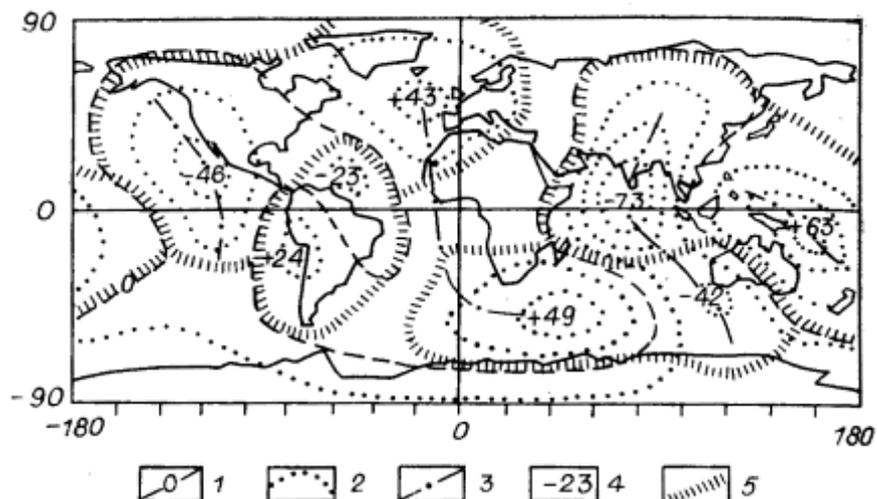


Рис. 6.20. Карта высот геоида с деталями тектоносферных тепловых машин первого и второго родов [Павлов, 1990].

1 – нулевая изолиния геоида; 2 – изолинии геоида (проведены через 20 м); 3 – осевые линии главных морфологических элементов геоида; 4 – экстремумы геоида (положительные и отрицательные); 5 – предполагаемые контуры тектоносферных тепловых машин второго рода.

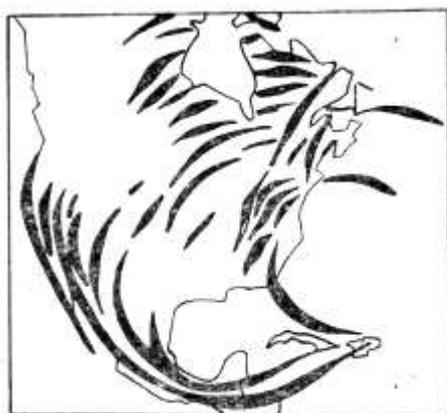


Рис. 6.21. Схема сочетаний складчатых зон Северной Америки (из работы Павлова[1990]).

Рассмотренные аналогии, разумеется, не являются явными и требуют дальнейшего анализа. Если он подтвердит высказанные здесь почти эвристические идеи, то перед геологией и геофизикой откроются новые, чрезвычайно перспективные горизонты.

**Общий вывод:**

- *верхние геосферы Земли и тектоносфера функционируют по принципу тепловых машин разного рода;*
- *их работа обеспечивает и контролирует взаимодействие геосфер, формируя их открытую гетерогенность.*

### Контрольные вопросы

1. Параметризация границ и принцип договорённости при их проведении. Как вы понимаете эту задачу?
2. В чём состоит клапанный принцип функционирования границ?
3. В чём состоит явление цикличности? Приведите примеры природных циклов.
4. Как выглядит геосферный цикл?
5. Постройте модель-диаграмму, показывающую связь климатического и литогенического типов круговорота воды.
6. Приведите несколько примеров коллективной структуризации в системе вода-порода.
7. Постройте модель-диаграмму единства природных вод Земли.
8. Приведите примеры круговорота воды с продолжительностью цикла, измеряемого а) часами, б) сутками, в) годами, г) сотнями лет и т.д. – до сотен миллионов лет.
9. Дайте общую схему и принципиальную характеристику тепловых машин Земли.

### *Литература*

#### *Основная*

1. Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. – М.: Мысль, 1974. – 444 с.
2. Павлов А.Н. Геологический круговорот воды на Земле. – Л.: Недра, 1977. – 141 с.
3. Шулейкин В.В. Физика моря. – М.: АН СССР, 1968. – 1084 с.

#### *Дополнительная*

1. Зекцер И.С., Джамалов Р.Г., Месхетели А.В. Подземный водообмен суши и моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 205 с.
2. Павлов А.Н. Тектоносферные сейши – динамический тип региональных геологических структур // Идея развития в геологии: Вещественный и структурный аспекты. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 142-151.
3. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе. – М.: Мир, 1987. – 224 с.