

Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ

Земля в своей основной массе
Видится под вуалью геометрии.
П. Шарден

3.1. Устройство поверхности.

Основные понятия.

1. **Гипсографическая кривая** – кривая, показывающая относительное площадное распределение высот суши и глубин океана на поверхности Земли. Получается, если откладывать по оси ординат высоты и глубины, а по оси абсцисс площади, занятые определенными высотами и глубинами.
2. **Литосфера** (от греч. lithos – камень, сфера – шар) – каменная оболочка Земли. Иногда рассматривается как синоним понятия «земная кора». Подробнее см. раздел 3.3 этой главы.
3. **Океан** (от греч. okeanos – беспредельное море) – самый крупный по площади и глубине тип водоемов Земли; огромная впадина, заполненная океанскими водами. Мировой океан состоит из 4 океанов – Атлантического, Индийского, Сев. Ледовитого и Тихого.
4. **Шельф** (от англ. shelf – полка (мель, синоним – материковая отмель)). В океанологии – область затопленная морем, находящаяся на периферии континента. Подробнее см. в тексте раздела 3.1 и в главе 7.
5. **Материки (континенты)** – самые крупные части суши, окруженные со всех сторон океанами и морями (Евразия, Африка, Австралия, Америка (Северная и Южная), Антарктида).
6. **Материковый склон** (синоним – континентальный склон) – переходная область, расположенная между шельфом и океаническим ложем.
7. **Ложе океана** – крупнейший элемент рельефа Земли, занимающий бóльшую часть дна океана и характеризующаяся особым типом земной коры.
8. **Островная дуга** – подводный горный хребет, вершины которого поднимаются в виде дугообразных архипелагов островов. Характеризуются сейсмической активностью, вулканизмом и значительными вертикальными движениями земной коры.
9. **Срединно-океанический хребет** – крупнейший элемент рельефа Земли, представляющий мощную горную систему с ответвлениями, протянувшуюся через все океаны. Длина срединно-океанического хребта превышает 60 000 км, средняя ширина 200-1200 км, относительная высота 1-3 км, отдельные вершины поднимаются значительно выше. Частями этого планетарного морфологического элемента являются Срединно-Атлантический, Срединно-Индийский и другие хребты. См. подробнее в гл.7.
10. **Океанический желоб** – сильно вытянутые в плане, слегка изогнутые, реже прямолинейные узкие асимметричные прогибы, активно развивающиеся вдоль разломов и периферических частях океанических впадин. Составляют часть системы островных дуг. См. подробнее в гл.7.
11. **Береговая линия** (на гипсографической кривой) – граница отделяющая сушу от моря (океана).
12. **Диаграмма фазовых равновесий** – графическое изображение состояния системы. Примером может служить диаграмма на рис. 3.1.

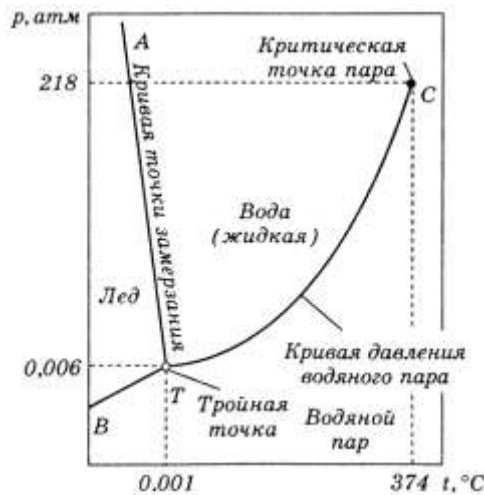


Рис. 3.1. Диаграмма фазового состояния воды (по К. Краускопфу).

13. **Географические гомологии** – географические соответствия. Гомология – термин биологический; означает морфологическое сходство у разных организмов одинакового происхождения.
14. **Эпейро** – от греч. epeiros – суша.
15. **Талассо** – от греч. thalassa – море.
16. **Симметрия** (от греч. соразмерность) – в кристаллографии и минералогии закономерная повторяемость равных частей, составляющих фигуру. Подробнее см. [Павлов, 2004].
17. **Сингония** – равноугольность. В кристаллографии группа видов симметрии. Подробнее см. [Павлов, 2004].
18. **Октаэдр** – замкнутый восьмигранник с гранями в виде равносторонних треугольников (кубическая сингония).
19. **Тетраэдр кубической сингонии** – замкнутый четырехугольник с гранями в виде равносторонних треугольников.
20. **Тетраэдр ромбической сингонии** – замкнутый четырехугольник с гранями в виде разносторонних треугольников.
21. **Моноэдр** – одна грань.
22. **Ось симметрии** – в кристаллографии прямая линия, при повороте вокруг которой на определенный угол симметричная фигура займет в пространстве то же положение, которое она занимала до поворота, но на место одних её частей переместятся другие такие же части. Подробнее см. [Павлов, 2004].
23. **Силикаты** – солеобразные минералы, представляющие собой химические соединения, содержащие SiO_2 . Подробнее см. [Павлов, 2004].
24. **Стратификация** [stratum – слой, пласт; facere – делать] – положение отдельных частей геологических образований в вертикальном разрезе. Может устанавливаться на основании возрастных, литологических и других особенностей горных пород.
25. **Аккреция** – слипание. Процесс развивающийся от по радиусу от центра.
26. **Аккумуляция** – процесс накопления на поверхности суши или дне водоемов минерального или органического вещества. См. гл.7 и 8.
27. **Геосферы** – приблизительно концентрические сферические оболочки, различные по составу и плотности, на которые по современным представлениям, разделяется Земля.

Гипсографическая кривая.

Если рассматривать поверхность Земли по самой упрощенной схеме, то можно сказать, что береговой линией мирового океана она разделена на две существенно отличающиеся морфологические области: океаническое дно и поверхность суши. Морфологические особенности этих областей принято характеризовать гипсографической кривой, (рис.3.2).

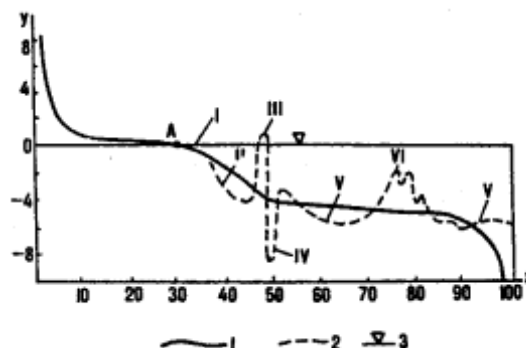


Рис. 3.2. Гипсографическая кривая Земли (по Е.Коссину).

1,2 – гипсографическая кривая: 1 – обобщённая, 2 – с морфологическими деталями океанического дна; 3 – уровень Мирового океана.

I – шельф; II – материковый склон; III – островная дуга; IV – океанический жёлоб; V – ложе океана; VI – срединный океанический хребет; А – положение береговой линии; у – средние высоты и глубины, км; х – площади, в процентах от площади всей поверхности Земли.

Наиболее интересной на этой кривой является точка А, обозначающая некоторое *среднее положение береговой линии*. Сама кривая является верхней границей литосферы и вместе с поверхностью океана делит координатную плоскость на три части..

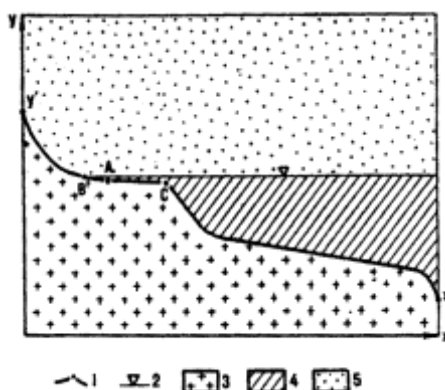


Рис. 3.3. Иллюстрация к пояснению понятия береговой линии и шельфа.

1 – гипсографическая кривая $y(x)$. См.рис. 3.2; 2 – уровень Мирового океана; 3 – литосфера; 4 – океанические водные массы; 5 – атмосфера; А – береговая линия; В – береговая линия при максимальном поднятии уровня океана (условно); С – бровка шельфа.

Рисунок 3.3 внешне напоминает *диаграммы фазовых равновесий*. При этом точка А на нём фиксирует равноправное сосуществование трёх фаз:

твёрдой, жидкой и газообразной. Однако, в отличие от фазовых диаграмм, в нашем случае величины x и y являются параметрами не состояния, а пространства, хотя характер кривой $x'-y'$ в известной мере этим пространством контролируется, поскольку фазы, заполняющие его, взаимодействуют

Известно, что начальная форма кривой $x'-y'$ (как поверхность литосферы) создаётся эндогенными (глубинными) процессами, а дальнейшее её изменение определяется экзогенными (поверхностными) факторами. Вот тут-то и возникает различие в характере воздействия пространства на кривую $x'-y'$. В пределах суши кривая формируется под влиянием атмосферного пространства, а в пределах океана – под влиянием масс воды. И только *точка А принадлежит сразу трём фазам.* Но её особенности заключаются не только в этом. Для неё свойственна ещё и способность перемещаться в геологическом времени по кривой $x'-y'$. Благодаря этой особенности свойством одновременной трёхфазности обладало множество точек, находящихся в пределах отрезка ВС. Одна его часть АС составляет собственно шельф, а другая ВА – является бывшим шельфом. Таким образом, *в историческом плане шельфы можно рассматривать как совокупность точек своеобразного фазового равновесия. Все, что происходит на шельфе, контролируется взаимодействием атмосферы, океана и суши.* По этой причине граница океан–литосфера в пределах шельфа имеет целый ряд как типично континентальных, так и типично атмосферных черт.

Для более полного представления об океанах и континентах приведём их основные морфологические характеристики (табл.3.1, 3.2).

Таблица 3.1

Основные морфометрические характеристики океанов

Океаны	Площадь поверхности воды ,млн. .км ²	Объем млн. км ³	Средняя глубина, м	Наибольшая глубина, м
Атлантический	91,66	329,66	3597	8742
Индийский	76,17	282,65	3711	7209
Сев.Ледовитый	14,75	18,07	1225	5527
Тихий	178,68	710,36	3979	11022
Мировой	361,26	1340,74	3711	11022

Таблица 3.2

Основные морфометрические характеристики континентов

Материки	Площадь (с островами) млн. км ²	Средняя высота над ур.моря, м	Наибольшая высота над ур.моря, м	Наибольшее понижение от ур.моря, м
Евразия	53,44	830	8848	– 395
Европа	~10,00	300	г.Джомолунгма 48,07 г.Монблан	ур.Мёртвого моря –29 ур.Каспийского моря

Азия	43,44	950	8848	–395
Африка	30,32	750	5895	–153
Сев.Америка	24,25	720	влк.Килиманджаро	ур.оз.Ассаль
Южн.Америка	17,87	580	6193	–85
Австралия	7,63	215	г.Мак-Кинли	долина Смерти
Антарктида	14,11	2040	6990	–40
			г.Аконкагуа	на п-ве Вальдес
			2230	–12
			г.Косцюшко	оз.Эйр
			5140	ур.океана
		с шельфами и ледниками	г.Массив Винсон	

Географические гомологии.

Анализ географических гомологий показывает, что размещение суши и моря, крупных высот и понижений на Земле, форма материков и океанов подчинено некой физической целесообразности и имеет определенную систематику.

Антиподальность материков и океанов. Она хорошо видна на рис. 3.4, взятом из работы Г.Н. Каттерфельда (1962г.): Антарктида – Сев.Ледовитый океан; Африка, Европа – Тихий океан и т.д.

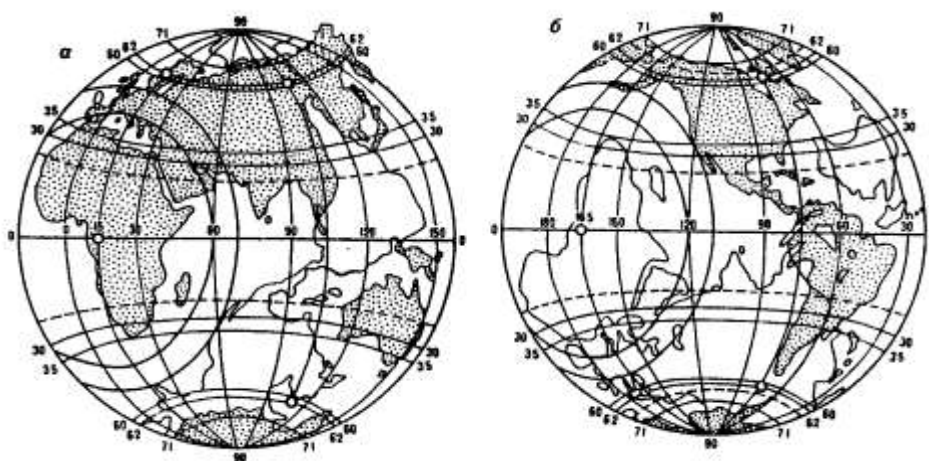


Рис. 3.4. Антиподальное расположение материков и океанов.

Жирные линии и точки – активные круги и центры; а – восточное полушарие; б – западное.

Антиподальность проявляется и через распределение суши и моря по широтам (см.рис. 3.5). По кривой $\alpha(\varphi)$ легко убедиться, что антиподальность суша-вода отсутствует лишь в приэкваториальной зоне, а потом быстро растёт, причём где-то на 70-х широтах она как бы меняет знак:

- до этих широт растёт «континентальность» северного полушария

и увеличивается «водность» южного, а далее

- картина меняется на обратную.

Антиподальность для геологических процессов, по-видимому, имеет большое, хотя и невыясненное до сих пор значение. По-существу, она констатирует асимметрию распределения масс относительно центра Земли, которая должна создавать моменты сил не совпадающие с направлением вращения вокруг оси.

Вторая гомология: северное полушарие является преимущественно континентальным, а южное – преимущественно океаническим (Рис. 3.5) Рисунок хорошо иллюстрирует существование так называемых северной и южной кругполярных параллелей, представляющих собою теоретическую границу океанов и материков в северном и южном полушариях, соответственно с широтами $\varphi = \pm 71^{\circ} 39'$ (при округлении $\sim 71^{\circ}$).

Рисунок 3.5 указывает и на существование двух теоретических кругов с широтами около $\pm 62^{\circ}$ – соответственно северную *эпейрогеническую* и южную *талассогеническую* параллели (параллели с наибольшим протяжением соответственно суши в северном полушарии и океана в южном полушарии). На рисунке они соответствуют широтам $\varphi = + 65^{\circ}$ и $\varphi = - 55^{\circ}$.

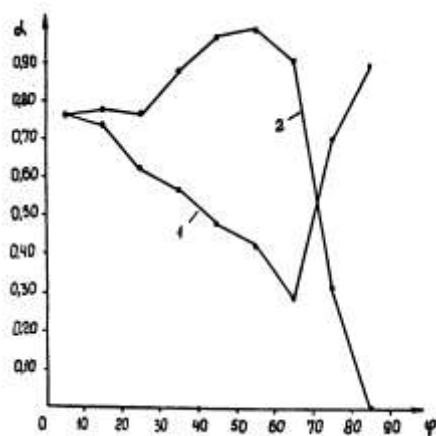


Рис.3.5. Изменение «водности» северного и южного полушарий Земли.
 φ – широты; α – часть площади между соседними параллелями, занятая морем; 1 – северное полушарие; 2 – южное полушарие.

Третья гомология. Клиновидная форма материков, определяющая так называемый *эпейрогенический меридиан* с долготами $(105-75)^{\circ}$. Он рассматривается как физическая граница между западным и восточным полушариями (*линия наибольшей протяженности суши вдоль меридиан*).

Четвертая гомология. Парное соединение северных и южных материков и их S-образная форма. Такая форма рассматривается как следствие эффекта кручения, благодаря которому теоретические круги

(только что названные, а также обсуждаемые ниже) деформируются.

Пятая гомология. Различная изрезанность океанических побережий – восточных и западных. Западные берега океанов имеют существенно более сложные очертания, чем восточные из-за того, что приливная волна движется с востока на запад.

Шестая гомология. Характерной чертой устройства поверхностей континентов и океанического дна являются и так называемые *горные параллели и меридианы*. Теоретическое их положение связывают с широтами $\varphi_e = \pm 35^\circ 15' 52''$ (округлённо $\pm 35^\circ$) и меридианами (60в.д – 120з.д)⁰, (150в.д. – 30з.д.)⁰.

Теоретические значения горных параллелей были вычислены советским математиком М.В. Стовасом. Позже оказалось, что с этим углом ($35^\circ 15' 52''$ и дополнительным к нему – $54^\circ 44' 08''$) связан целый ряд природных закономерностей в геологии, кристаллографии и гидродинамике:

- полосы наиболее солёной воды в океанах,
- пятна на Солнце,
- затропические барометрические максимумы на Земле и т.д.

Это явление не понято до сих пор. Б.Л.Личковым и И.И.Шафрановским (1958 г.) была лишь высказана мысль, что данные углы, возможно, являются энергетически наиболее выгодными. Реально же ситуация сводится к тому, что в полосе широт $\pm (30-40)^\circ$ сосредоточены *наиболее крупные горные сооружения на континентах и наиболее глубокие депрессии в океанах*. Этот факт прослеживается не только визуально на картах полушарий, но виден и в цифрах по средним значениям высот и глубин, а также по распределению высочайших вершин мира (см. табл.3.3 и 3.4).

Таблица 3.3

Зональная гипсометрия северного полушария Земли

Поясы, °	Средние высоты, м	Средние глубины, м
80 – 70	550	630
70 – 60	360	890
60 – 50	470	2130
50 – 40	770	3650
40 – 30	1350	4150
30 – 20	740	4150
20 – 10	520	4100
10 – 0	690	4020

В таблице 3.3 (по средним глубинам океана) и в табл. 3.4 достаточно чётко выделяется более широкая полоса с $\varphi = (40-20)^\circ$, что основной закономерности не нарушает.

Зональное распределение высочайших вершин Земли

Зоны, ⁰	Северное полушарие	Южное полушарие
	Вершины, м	Вершины, м
80 – 70	Петерманна 2939	В горах королевы Мод 5180
70 – 60	Логан 6050	Стивенсон 2989
60 – 50	Броуна 4880	Дарвина 2469
50 – 40	Хан-Тенгри 6995	Кука 3764
40 – 30	Чогори 8611	Аконкагуа 6960
30 – 20	Джомолунгма 8848	Охос-дель-Саладо 6885
20 – 10	Орисаба 5700	Сахама 6780
10 – 0	Каямбе 5840	Чимборасо 6272

Подобные оценки по *горным меридианам* нам неизвестны, однако, обратившись к физико-географической карте полушарий или глобусу, с поправками на S-образную форму континентов и их попарное соединение, вы легко найдёте подтверждение реальности *горных кругов* (60–120)⁰ и (150–30)⁰. В отличие от параллелей, вдоль такого меридиана на смену горным сооружениям континентов в пределах океанического дна приходят не депрессии, а тоже горные сооружения и поднятия. Попробуйте самостоятельно проследить меридиан 60⁰ в.д. – 120⁰ з. д., к которому как бы «прикреплён» Уральский хребет.

Симметрии.

Морфологические особенности строения поверхности Земли подчиняются и более общим закономерностям. В их основе лежит принцип дисимметрии, введенный в науку ещё П.Кюри и развитый для Земли, вначале В.И.Вернадским, а затем Б.Л.Личковым, И.И.Шафрановским и др. Речь идет о том, что симметрию океанов и симметрию материков можно представить в виде *двух тетраэдров кубической сингонии* с одинаково развитыми соответственно чёрными и белыми гранями (рис.3.6).

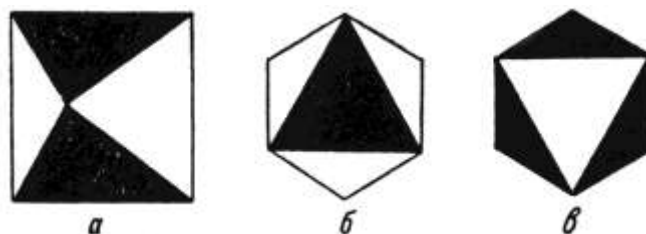


Рис. 3.6. Октаэдрическая модель симметрии Земли.
Белые грани изображают сушу; черные – океаны
(по И.И. Шафрановскому, 1968).

Речь идёт не о том, что Земля кристалл и, в частности, октаэдр, а о том, что её поверхностная симметрия напоминает симметрию октаэдрического

типа. Октаэдр – это лишь *прототип теоретической правильности устройства поверхности нашей планеты*. Эта игра в теоретический прототип даёт очень много для понимания устройства Земли как планеты. Её верхняя грань изображает Северный Ледовитый океан (а). Вид сверху (б) обозначает положение трёх обобщенных континентальных структур: Северной и Южной Америк, Евроафрики и Азии (белые грани). Перегруппировав эту игрушку (в), мы увидим Антарктиду (белый треугольник) и три обрамляющих океана.

Известно, что *октаэдры могут быть оформлены в виде двух тетраэдров кубической сингонии*, когда грани одного развивается по вершинам другого. Совокупность этих тетраэдров, одна из тройных осей которого совпадала бы с осью вращения Земли, даёт чёрно-белый октаэдр. См. рис.3.7).



Рис. 3.7. Сочетание черного и белого тетраэдров кубической сингонии.

Более поздние разработки, в которых земная симметрия поверхностей океан–материки исследовалась с генетических позиций [Павлов,1985], показали, что *правильнее говорить о симметрии двух тетраэдров, но не кубической, а ромбической сингонии с видом симметрии $3L_2$* и таком расположении сферических граней океанов и континентов, при котором *оси кардиоидального эллипсоида* (см. раздел 2.5 гл.2) совпадают с осями второго порядка (см.рис.3.8).

Мы только что обозначили длинную ось экватора долготами 15^0 в.д. и 165^0 з.д., а короткую 105^0 в.д. и 75^0 з.д. Исходя из того, что грани одного из тетраэдров, скажем континентального (как менее развитые), формировались по вершинам тетраэдра океанического, можно сделать вывод, что *оси $3L_2$ первого тетраэдра совпадают с осями $3L_2$ второго*. Сами же оси проходят через середины рёбер (см.рис.3.7). Спроектировав грани тетраэдров на поверхность трёхосного эллипсоида, получим систему сферических треугольников, пересекающихся в области оснований. Причём северные и южные части эллипсоида (на рис.3.8 – для простоты они изображены в виде шара) окажутся вне тетраэдрических граней, но через их центры (северный и южный полюсы) проходят короткие оси L_2 двух тетраэдров. Эти оси будут получены как бы вращением верхних рёбер тетраэдров.

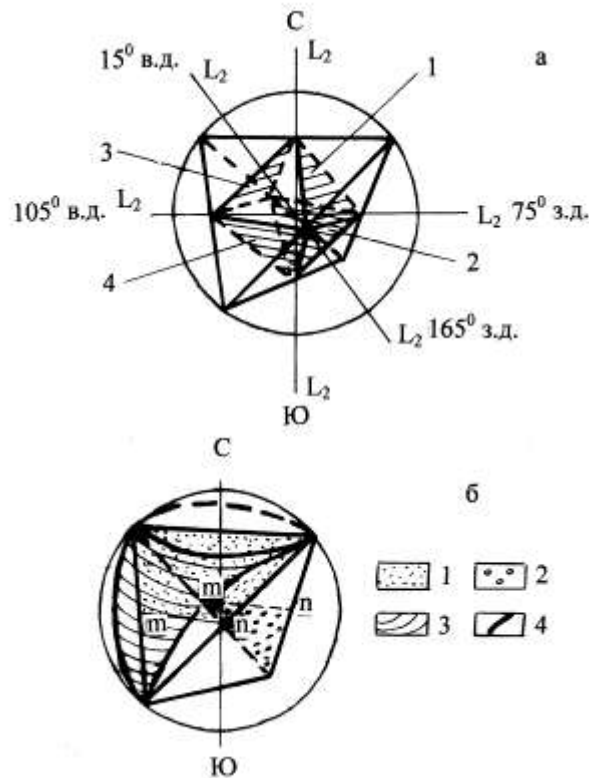


Рис. 3.8. Схема сочетания континентальных и океанических тетраэдров [Павлов, 1985 доп.].

а. Заштрихованные грани – континентальные. Белые грани – океанические. 1,2,3,4 – номера граней.

б. 1 – 75% площади всей грани; 2 – 25% площади всей грани; m-n – средние линии в треугольниках; 3,4 – проекция грани тетраэдра на поверхность эллипсоида (на схеме сферы).

Таким образом, получается, что геометрия поверхности Земли описывается как сочетание четырёх простых сферических форм:

- *гранями двух тетраэдров ромбической сингонии и*
- *моноэдрами, развивающимся по двум рёбрам этих тетраэдров – океаническому на севере и континентальному на юге.*

Эта тетраэдрическая схема хорошо подтверждается решением несложной задачи. Развитие эллиптических граней двух тетраэдров происходило с наложением их друг на друга в области оснований, т.е. в высоких широтах. Поскольку северное полушарие является преимущественно континентальным, а южное океаническим, можно предположить, что в северном полушарии грани континентального тетраэдра перекрывали грани океанического, а в южном – наоборот. (См. рис.3.9). Допустим, что в обоих полушариях это перекрытие было максимально уравновешенным, т.е. возникала фигура близкая к чёрно-белому октаэдру (рис.3.9 – для упрощения расчётов вместо эллипсоида

везде рассматривается шар, поскольку по размерам своих осей эти модели Земли отличаются незначительно, а нас интересуют лишь принципиальные оценки).

Для полученных равносторонних треугольников нетрудно подсчитать коэффициент α :

$$\alpha = S_k / S_o$$

где S_k – суммарная площадь континентальных граней,
 S_o – суммарная площадь океанических граней.

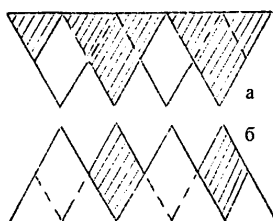


Рис. 3.9. Схема перекрытий граней континентального океанического тетраэдров. Заштрихованные грани – континентальные. Белые грани – океанические. а – ситуация перекрытия в северном полушарии; б – ситуация перекрытия в южном полушарии.

Для северного полушария $\alpha_c = 2$, а для южного $\alpha_{ю} = 0,5$. Поскольку реальное развитие рассматриваемых граней не сделало их равными, то фактические соотношения величин S_k и S_o совершенно не похожи на теоретические.

По данным Л.П. Шубаева, приводимым Г.Н. Каттерфельдом, за вычетом площадей Антарктиды и Северного Ледовитого океана, т.е. для широт $(90-70)^0$ обоих полушарий, представленных на нашей схеме моноэдрами, получены следующие результаты:

Северное полушарие, млн.кв.км

$S_k = 96,7$; $S_o = 142,8$; $\alpha_c = 0,677$

Южное полушарие, млн.кв.км

$S_k = 36,4$; $S_o = 203,1$; $\alpha_{ю} = 0,179$

Если развитие граней тетраэдров было подчинено одному закону, то соотношение коэффициентов α должно быть величиной достаточно устойчивой, теоретически постоянной. Именно этот факт мы и можем зафиксировать:

теоретическая задача – $\alpha_{ю} / \alpha_c = 0,25$,

фактическое соотношение – $\alpha_{ю} / \alpha_c = 0,26$.

Таким образом, можно утверждать, что поверхность Земли устроена по принципу двух сферических тетраэдров ромбической сингонии и двух моноэдров. По граням одного тетраэдра и моноэдру развиваются

континентальные формы рельефа, по граням другого тетраэдра и второму моноэдру – океанические.

Причину такой красивой геометрии, как и многое в этом мире можно объяснить по-разному. Но весьма изящно это можно сделать на основе *тетраэдрических структур силикатов*, составляющих около 75 % массы литосферы и *тетраэдрической структуры воды* в рамках модели горячего начала Земли, в которой её возникновение и формирование связывается с конденсацией горячей газовой туманности. Вот её основные черты [Кларк мл., Турекьян, Гроссман, 1975]:

1. Формирование ядра Земли начиналось при охлаждении планетарной газовой туманности в условиях относительно низких температур, хотя и превышающих 1200 °К. Аккумулировавшее вещество находилось в твёрдом состоянии и представляло собой железо-никелевый материал.
2. По мере роста массы ядра её гравитационная потенциальная энергия возрастала и вокруг твёрдого ядра возникала расплавленная зона с *устойчивой стратификацией*. При таком начале формирования Земли ядро оказывалось первичным и возникло в процессе *аккреции* (слипания) за короткий промежуток времени (около 100 тыс. лет).
3. Дальнейшее охлаждение туманности привело к конденсации на поверхности ядра оливина и пироксенов. (*Оливин и пироксены – минералы группы силикатов, характерные для глубинных областей нашей планеты*). Между ядром и силикатной оболочкой мантии возникает резкая граница (эксперименты по взаимодействию металлического и силикатного расплавов показали, что они являются несмешивающимися жидкостями).
4. По мере роста Земли темп *аккумуляции* падал в результате уменьшения количества вещества, находящегося вблизи Земли и наиболее доступного для захвата. Это приводило к понижению температуры поверхности Земли и, как следствие, к конвективной гомогенизации ядра и части сформировавшейся мантии.
5. Наружный слой Земли (около 20 % от её массы) [если по этой массе рассчитать мощность данного слоя (учитывая, что плотность есть функция радиуса Земли), то она окажется равной примерно 630–640 км.] сформировался в основном за 100 тыс.÷10млн.лет. Вещество поверхностного слоя представляет собой смесь поздних и ранних низкотемпературных конденсатов.

В соответствии с этой моделью ядро Земли и её *сферические оболочки, называемые геосферами*, возникли независимо друг от друга по дискретной схеме конденсации горячей газовой туманности. Они существовали как изначальные, заданные при рождении формы, возраст которых не одинаков: наиболее древним является ядро, а самой молодой – атмосфера.

Общий вывод:

- *Земная кора и литосфера устроены по принципу двух сферических тетраэдров ромбической сингонии (3L₂) и двух моноэдров. По*

граням одного тетраэдра и моноэдру развиваются континентальные структуры, по граням другого тетраэдра и второму моноэдру – океанические.

- *Поверхности континентального и океанического типов формировались в результате поступления минерального вещества извне (конденсации космической газовой туманности).*
- *Симметрия геосфер в процессе формирования Земли меняется от высшей категории сингоний к низшей.*

3.2. Внешние оболочки.

Основные понятия.

1. **Атмосфера** – газовая оболочка Земли.
2. **Гетерогенность** – разнородность по составу или происхождению
3. **Тропосфера** – нижний слой атмосферы. В нём происходит образование основных типов облаков, осадков, ветра и явлений, связанных с погодой.
4. **Стратосфера** – слой атмосферы, расположенный над тропосферой. Простирается до высоты около 55 км над земной поверхностью.
5. **Озоновый слой** – слой повышенной концентрации озона (O_3) на высоте около 30 км (стратосфера).
6. **«Озоновая дыра»** – аномальное явление, связанное с уменьшением естественного для данной широты и времени года содержания озона в атмосфере (озоновом слое).
7. **Мезосфера** – слой атмосферы, располагающийся над стратосферой до высоты около 80 км. На её верхней границе формируются серебристые облака, представляющие собой скопления мельчайших ледяных кристалликов.
8. **Термосфера** – самый верхний наиболее разреженный слой атмосферы, для которого характерна повышенная ионизация входящих в неё газов.
9. **Экзосфера** – область рассеяния (диссипации).
10. **Гидросфера** – геологическая система, объединяющая известные нам формы природных вод (физические, химические, биологические), формирующие устойчивые квазизамкнутые группы вода-среда, которые обеспечивают наиболее эффективный теплоперенос из глубин Земли к ее внешней границе (Горная энциклопедия, 1986 г.).
11. **Квази** – от англ. quasi – как будто бы.
12. **Биосфера** – сложная наружная оболочка Земли, населенная организмами, составляющими в совокупности живое вещество планеты.
13. **Слой жизни** – слой, в котором возможно естественное существование человека. Термин введен А.Н. Павловым [2004 б].
14. **Экологическая система** – понятие тождественное понятию окружающая среда (по Э. Геккелю – биологический термин, без участия человека; человек наблюдатель).
15. **Платформа** – основной элемент структуры континентов, характеризующийся спокойным тектоническим режимом (медленные и малоамплитудные колебания, отсутствие или слабое и специфическое проявление магматической деятельности). Например, Русская платформа, Восточно-Сибирская платформа и др
16. **Кристаллический фундамент** – основание *платформы*, сложенное

дислоцированными осадочными и магматическими породами.

17. **Осадочный чехол (платформенный чехол)** – верхний структурный ярус платформ, сложенный обычно неметаморфизованными осадочными горными породами [Павлов, 2004 а].
18. **Артезианский бассейн** – комплекс водоносных пластов, слагающих структуры земной коры в виде крупных прогибов.
19. **Гидрогеологический массив** – гидрогеологическое сооружение, представленное только фундаментом (кристаллическими или метаморфическими толщами, смятыми в складки уплотненными осадочными породами), прикрытое четвертичным покровом незначительной мощности или совсем обнаженное (по Н.И. Толстихину).
20. **Водоносный горизонт** – однородные или близкие по литологическому составу и гидрогеологическим свойствам пласты горных пород, насыщенные водой.
21. **Литификация** – изменения, происходящие в осадках после их отложения, приводящие к их окаменению и превращению в осадочные горные породы. (См. [Павлов, 2004 а]).

Общая характеристика атмосферы.

Атмосфера. По результатам исследований Международного геофизического года (1957/1958) верхнюю границу атмосферы принято проводить по высоте 700–800 км. Граница эта в известном смысле условна и связана с началом так называемой экзосферы, которая от других нижележащих слоёв атмосферы отличается относительной бесструктурностью.

Масса атмосферы оценивается в $5,26 \cdot 10^{18}$ кг и распределена по высоте в соответствии с экспоненциальным законом (рис. 3.10). Переход к безвоздушному пространству космоса постепенный и потому с учётом экзосферы верхнюю границу атмосферы проводят уже по высоте 2000 – 3000 км.

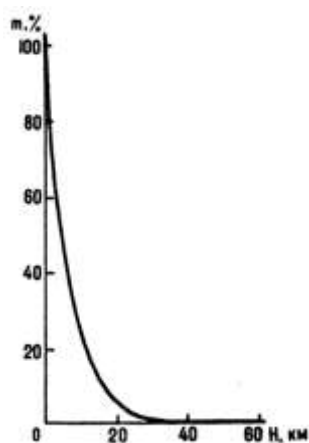


Рис. 3.10. Изменение массы атмосферы с высотой (по И. Блютгену, 1972 г.).
m – общая масса атмосферы; H – высота от усредненной поверхности Земли.

Атмосфера неоднородна. По вещественному составу, температуре и

характеру воздушных течений в ней выделяется несколько слоёв, *границы между которыми носят название пауз: тропопауза, стратопауза, мезопауза, термопауза.* По своей сути эти границы градиентны, т.е. фиксируются по резкой смене температур и ветровых скоростей, а также по составу и состоянию газа (рис.3.11).

Паузы выполняют *запрещающие и разрешающие* функции. Они имеют внутреннюю структуру, которая и гарантирует автономию и само существование тропосферы, стратосферы, мезосферы и термосферы.

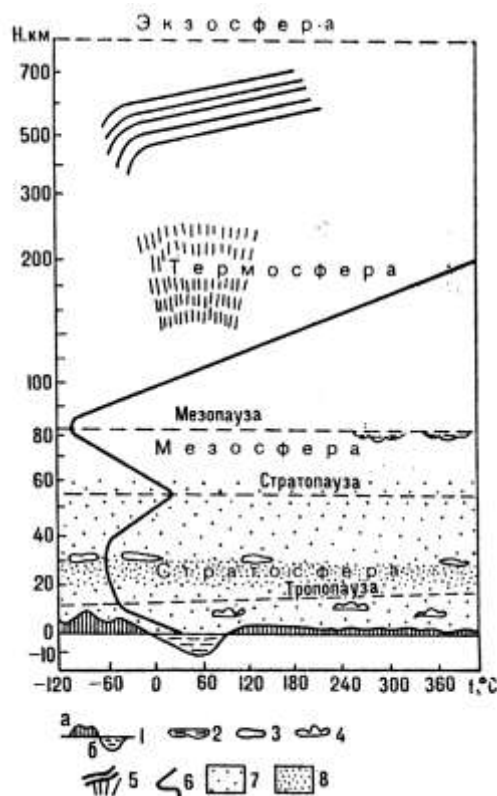


Рис. 3.11. Схематический разрез атмосферы.

1 – верхняя граница литосферы (а – суша, б – океан); 2 – серебристые облака; 3 – перламутровые облака; 4 – яруса облачности в тропосфере; 5 – полярные сияния; 6 – температурная кривая; 7 – слой распространения озона; 8 – слой наибольшей концентрации озона (озоновый слой)

Благодаря паузам *атмосфера гетерогенна.* Однако, периодически в паузах возможно возникновение разрывов, через которые между структурными слоями атмосферы происходит обмен веществом и энергией, т.е. реализуются *разрешающие функции границ.* (См. рис 3.12).

Т р о п о с ф е р а. Около 90% массы атмосферы сосредоточено в тропосфере. Наряду с газами тропосфера содержит пыль различного происхождения, в том числе и техногенную, ионы и соли, а в последние десятилетия в ней наблюдается большое количество промышленных газов,

особенно над индустриальными районами, а также бактерии и радиоактивные вещества. Здесь же находится и основное количество атмосферной влаги. По современной международной классификации в тропосфере различают четыре высотных семейств облаков:

- верхнего яруса (5000 – 13000) м,
- среднего яруса (2000 – 7000) м,
- нижнего яруса (от поверхности Земли до 2000 м),
- облака вертикального развития (от 500 м до переменной высоты вершины облака).

Приведённые высоты являются средними для умеренных широт и существенно меняются в меридиональном направлении, а также зависят от времени года, типа погоды, особенностей подстилающей поверхности.

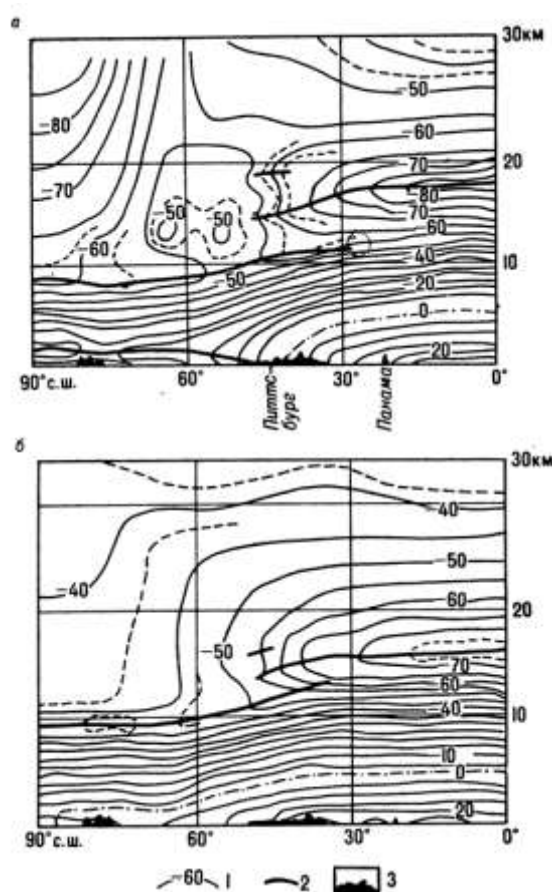


Рис. 3.12. Продольный разрез атмосферы северного полушария вдоль меридиана 80° з.д. по осредненным данным за январь (а) и июль (б) 1948-1951 гг. (по И. Блютгену, 1972 г.).

1 – изотермы, °C; 2 – тропопауза; 3 – суша.

Главными чертами циркуляции в тропосфере являются преобладание западных ветров, а также вертикальный перенос и турбулентный характер движения.

Стратосфера. В стратосфере до высот около 40 км температура воздуха ниже нуля и почти постоянна по высоте. Затем она быстро возрастает, достигая положительных значений в среднем 15 °С. До появления спутниковой метеорологии о стратосфере знали очень мало. Считалось, что вертикальные течения воздуха и обычные виды облаков в ней отсутствуют. В настоящее время в стратосфере установлена активная вертикальная циркуляция, приводящая к перемешиванию воздуха до высот порядка 30 км, что обеспечивает приблизительно постоянный состав смеси газов. Лишь выше начинается расслоение. Следует отметить, что отдельные вертикальные струи зафиксированы ракетным зондированием до высот 140 км, что, в частности, является одним из оснований для утверждений о периодическом появлении разрывов в *страто-и мезопаузах*. Преобладающее направление ветров в стратосфере – восточное, в отличие от западного в тропосфере.

Исключительно важной особенностью стратосферы является наличие в ней *озонового слоя* (см. рис.3.9), а также локализованной зоны повышенной влажности на высоте около 30 км, с которой связано существование *перламутровых облаков*. В начале 80-х годов прошлого века в Антарктиде на английской станции Хэлли-Бей было обнаружено резкое снижение содержания озона в приполюсной области. Позже этот феномен получил название «*озонной дыры*», появление которой вызвало сильное беспокойство не только специалистов, но и широкой общественности. Дело в том, что слой озона, хотя и ничтожный по своей концентрации, выполняет для Земли исключительно важные функции. Он поглощает опасное для жизни жёсткое ультрафиолетовое излучение Солнца и участвует определённым образом в формировании теплового режима атмосферы, а значит и всей планеты. Причины этого явления не выяснены. Обсуждаются в основном две гипотезы:

- по первой, появление озонной дыры связывается с изменением интенсивности приноса озона в южную полярную область;
- по второй, – главная роль отводится химическим процессам, возникающим в связи с загрязнением атмосферы и, в частности, с появлением в ней больших количеств фреонов.

На мой взгляд, не исключено и более тривиальное объяснение:

«*озонная дыра*» является таким же периодическим разрывом граничных слоёв, какие обнаруживаются в тропопаузе и в виде мощных вертикальных струй фиксируются в страто-и мезопаузах, проявляются на границе океан – атмосфера в виде термобарических сейш, тропических ураганов и т.д.

Мезосфера. В её газовом составе преобладают азот и кислород. Она весьма устойчива. Температура от нижней границы к верхней понижается, достигая *минус* (75 ÷ 90) °С. У верхней границы характерно образование так называемых *серебристых облаков*.

Т е р м о с ф е р а. Наиболее разреженный слой. Характерной чертой является относительно повышенная ионизация входящих в её состав газов, а также существенное температуры (см.рис.3.9). Общая повышенная ионизация термосферы способствует возникновению здесь полярных сияний. В сравнении с нижележащими областями в термосферной циркуляции значительную роль играют ветры меридионального направления.

Среднее содержание водяного пара в атмосфере составляет 2,6% (по объёму), для средних широт оно равно 1,3% летом и 0,4% – зимой. Кроме того, нормальная (чистая) атмосфера содержит некоторые летучие примеси: пыль, сернистый ангидрид, окись углерода, окись азота, а также ряд других соединений и бактерии.

Гидросфера.

Общая характеристика. Гидросфера это водная оболочка Земли. Её можно назвать проникающей, поскольку она объединяет все известные нам формы природных вод и в атмосфере и на поверхности Земли и в её недрах:

- растворённые в магматических расплавах,
- находящиеся в химическом соединении с минералами,
- сорбированные поверхностью минеральных зёрен,
- капиллярные,
- осмотические,
- вакуольные,
- биологически связанные,
- жидкие,
- твёрдые и
- парообразные.

Эти формы постоянно переходят одна в другую и взаимодействуют с вмещающими средами. Например, жидкая вода превращается в пар и лёд, пар конденсируется, лёд тает. При возникновении многих минералов вода входит в их кристаллическую решётку (например, гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мусковит – $\text{KAl}_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_2\text{O}_{10}]$ и др.). При повышении температуры эти минералы воду теряют. Молекулы воды удерживаются и поверхностью минеральных зёрен, хотя эта связь сохраняется лишь при невысоких температурах [до $(100 \div 300)^\circ\text{C}$]. Вода понижает температуру плавления пород и является составной частью магм. Прямо или косвенно вода участвует во всех природных процессах, происходящих на Земле, и в этом состоит её *всюдность* (по выражению акад. В.И.Вернадского). Именно эти процессы объединяют все известные формы природных вод, формируют их единство и определяют ту *целостность гидросферы, которая делает её геологической системой*.

По преобладающим формам существования воды, по особенностям вмещающей среды, господствующим типам массопереноса гидросфера может быть расчленена на квазиизолированные группы разных порядков. К группам первого порядка относятся: *воды в атмосфере, воды на поверхности Земли и воды подземные*. Каждая из этих групп делится на подгруппы более высоких порядков. Например,

- в атмосфере можно выделить воды разных ярусов облачности (см. выше);
- на поверхности Земли – воды океанов, морей и суши;
- в недрах Земли – воды литосферы и мантии (см. раздел 3.3.);
- в пределах литосферы – воды кристаллического фундамента и осадочного чехла, в которых в свою очередь выделяют воды артезианских бассейнов и гидрогеологических массивов и так далее до отдельного водоносного горизонта.

Квазиизолированность структурных элементов гидросферы создаётся различными формами круговоротов воды.

- В атмосфере – водообменами океан–атмосфера, суша–атмосфера, океан–суша (атмосферная ветвь).
- На поверхности Земли – через речной сток.
- В её недрах – через подземный сток, вулканические и метаморфические процессы, осадконакопление в водных бассейнах, литификацию и т.д.

Все формы круговоротов воды представляют собой почти циклические процессы. Их повторяемость и балансовая устойчивость формируют внутреннюю структуру гидросферы, создавая определённую автономию различных её частей в соответствии с типом и масштабом самого круговорота (планетарного, регионального и т.д.). В тоже время взаимодействие различных ветвей и форм круговоротов создаёт на отдельных участках внутренних границ гидросферы зоны возбуждения, в пределах которых водообмен резко возрастает.

Например, на поверхности океана такими зонами являются:

- штормовые поля, тропические ураганы;
- в атмосфере – струи вертикальной циркуляции;
- на суше – устья рек в паводок;
- в земной коре – области активной денудации и эрозионного раскрытия водоносных горизонтов, области аномальных тектонических напряжений и магматической активности (см. главы 7 и 8).

Таким образом, круговороты воды на Земле с одной стороны расчленяют гидросферу на части, создавая различные типы пространственно-временной организованности подсистем вода $\Leftrightarrow$ среда, с другой – создают условия для временного разрушения существующего структурного уровня (в разных масштабах пространства и времени).

Фундаментальные свойства гидросферы.

Впервые были сформулированы А.Н. Павловым [1985]. Это такие свойства, которые *присущи гидросфере в целом* – не отдельным её составляющим, не различным формам воды на Земле, а именно гидросфере как геологической системе:

- Способность гидросферы обеспечивать самый высокий КПД геологической тепловой машины Земля.
- Коллективная структуризация в системе вода-среда, заключающаяся в консервативности взаимоотношений воды и вмещающей среды.

Открытие этих свойств коренным образом меняет представление о гидросфере как прерывистой водной оболочке Земли, располагающейся между атмосферой и литосферой, как простой совокупности океанов, морей континентальных водоёмов и ледяных покровов, которым обычно пользуется география. Оно позволяет рассматривать гидросферу как геологическую систему, в которой все известные нам формы природных вод (*физические, химические, биологические*) формируют квазиизолированные подсистемы, существующие благодаря коллективной структуризации вода-среда и благодаря способности обеспечить наиболее эффективный перенос тепла из глубин Земли к её внешней границе [А.Павлов,1985].

Взгляды на происхождение гидросферы.

Возникновение гидросферы до сих пор дискуссионно. До недавнего времени большинство специалистов разделяло представления акад. В.П.Виноградова, в соответствии с которыми гидросфера возникла как продукт дифференциации мантии в результате её дегазации по механизму зонной плавки. Однако в настоящее время эти взгляды подвергаются серьёзной критике. Если же исходить из современных представлений о горячем начале Земли гидросфера возникла в самом конце этого процесса и в её развитии можно выделить две фазы [Павлов, 1985]

- обводнение верхней мантии (в 20% по массе наружном слое) и
- её обезвоживание, совпадающее по времени с геологическим этапом развития Земли.

На первой фазе в 20% слое возникла пористость и трещинноватость (до конденсации воды). Затем появилась вода физически связанная. Далее в результате ряда последующих процессов возникли воды химически связанные и на последней стадии – свободные.

Современная гидросфера – результат длительной эволюции Земли и глубокой дифференциации её вещества. Воды рек и озёр, подземные воды, занимая сравнительно малую долю в общей массе гидросферы, играют важнейшую роль, являясь источником водоснабжения, орошения и обводнения. Управление круговоротом этих вод, использование их для

нужд человечества – важная научная проблема, имеющая большое экономическое и социальное значение.

Из приведённой ниже таблицы 3.5 видно, что основная масса капельно-жидких вод Земли сосредоточена в мировом океане. Его химический состав довольно устойчив и при многих экологических построениях часто рассматривается как некий гидрохимический эталон.

Однако надо отметить, что, хотя ёмкостные возможности мирового океана действительно велики, они всё же не безграничны и при такой интенсивной техногенной нагрузке на планету, которая существует в настоящее время, человечество свой водный эталон может потерять довольно быстро. Катастрофы назревают и подкрадываются незаметно. И когда мы говорим, что то-то и там-то появилось «вдруг», мы ошибаемся. Никакого «вдруг» не бывает. Просто мы как всегда беспечны и наивны. И само понятие катастрофа возникло как отражение нашего менталитета: авось, небось, как-нибудь.

Таблица 3.5

Запасы свободной воды в гидросфере.

Виды воды	Объём млн.куб.км	Доля от мировых запасов, %
Мировой океан	1340,74	96,49
Подземные воды (без Антарктиды),		
гравитационные и капиллярные	23,40	1,68
Преимущественно пресные		
подземные воды	10,53	0,76
Почвенная влага	0,02	0,001
Ледники и постоянный снежный покров	24,87	1,79
Поверхностные воды многолетнемёрзлых пород	0,30	0,022
Вода в озёрах	0,18	0,013
Воды болот	0,01	0,0007
Воды в руслах рек	0,002	0,0001
Биологическая вода		
(в живых организмах и растениях)	0,001	0,0001
Вода в атмосфере	0,01	0,0007
Общие запасы	1389,53	100
Пресные воды	35,83	2,58

Биосфера.

Подобно гидросфере – это проникающая оболочка Земли, в которой сосредоточена белковая форма жизни. Конечно, белки не исчерпывают понятия живого вещества, основными компонентами которого являются кислород, водород, углерод и азот. К наиболее распространённым

соединениям, кроме белков, относятся ещё углеводороды и жиры. Но только белки представляют собой тот исключительный материал, который служит основой жизни на Земле. Появление жизни на нашей планете до сих пор остаётся загадкой, которую можно рассматривать с двух позиций:

- либо земная форма жизни занесена к нам из космоса,
- либо она возникла на самой Земле в результате анабиогенеза (из веществ неорганической природы).

Нижняя граница биосферы проходит на глубинах, где давление не должно превышать 600 Па (1–2 км), а температура быть не выше 100 °С. В атмосфере белковые формы жизни зафиксированы на высотах до 1000 км. Общую массу биосферы принято считать равной приблизительно 10^{14} кг. Число установленных биологических видов достигает 2 млн. единиц. Основная жизнь сосредоточена в океане, на поверхности Земли и в почвенном слое. Объём биосферы оценивается в 10 млн. км³. Масса растений превышает массу животных почти в 5 раз.

Биосфера имеет для Земли огромное энергетическое значение и представляет собой уникальный механизм, с помощью которого лучистая энергия преобразуется в другие формы. Поэтому она оказывает огромное влияние на развитие других оболочек Земли. В частности, установлено, что большая часть углекислого газа атмосферы имеет биогенное происхождение. Живое вещество в значительной мере определяет процессы выветривания земной коры, окислительные и восстановительные реакции (см. гл.8).

В конечном счёте, именно биосфера определяет структуры, которые мы называем *экологическими системами*.

Слой жизни и техносфера.

Человек живет на суше. Точнее он обитает на ее поверхности. Говоря, обитает, мы хотим подчеркнуть, что речь идет о нормальных генетически нормативных условиях его существования, условиях согласованных с его биологическим статусом. *Это биологическая ниша человека.*

Площадь суши составляет около 29% от всей поверхности земного шара и равна приблизительно 149 млн. кв. км. Если принять, что население Земли близко к 6 миллиардам, то нетрудно вычислить, что в среднем на одном квадратном километре суши живет около 40 человек. На самом деле средняя плотность населения гораздо больше, так как из 149 млн. кв. км следует исключить площадь Антарктиды, островов морей Северного Ледовитого океана, многих территорий с тундровым ландшафтом и тайгой, пустыни, солончаковые степи и высокогорные области.

Не будем заниматься «точными» подсчётами, не в них наша цель. Заметим только, что скорей всего мы не сильно ошибемся, если примем среднюю плотность равной 100 человек на 1 кв. км.

А это означает, что на одного жителя Земли в среднем приходится где-

то около 1 гектара нормальной, т.е. пригодной для обитания площади суши. Согласитесь, что это совсем немного. Если же учесть, что реальное распределение плотности народонаселения существенно отличается от среднего, то для целых крупных регионов уже можно говорить о перенаселении. Про города, да еще города-гиганты, мега-полисы, вряд ли следует и напоминать.

Таким образом, сегодня границу океан $\Rightarrow$ суша $\Rightarrow$ атмосфера уже нельзя рассматривать без человека. Человек – часть этой границы. Он принадлежит ей. Он её формирует. Он живет в ней.

Реальная поверхность границы обитания человека как биологического вида чрезвычайно сложна и во всех деталях навряд ли может быть описана с помощью каких-то формальных приёмов.

В масштабе всей Земли детали её рельефа, даже самые экзотические, практически не просматриваются. В сравнении с истинными размерами Земли, средняя толщина слоя воды в мировом океане (приблизительно 3,7 км) или средняя толщина тропосферы (около 10 км), содержащей почти 90% всей воздушной массы атмосферы (см. рис.3.8), кажутся тончайшими плёнками. Но ведь нормированная, биологическая ниша человека гораздо тоньше – где-то около 2 км. Сравнивая эту цифру со средним радиусом Земли (около 6371 км), мы начинаем осязать космический масштаб наших реалий:

слой нашей "взаправдашной" нормальной жизни ничтожно тонок, почти невидим. Он составляет всего лишь 0,03% от радиуса Матери-Земли. Для наглядности представим себе 0,3 мм на метровой линейке или 3 см на 100-метровой беговой дорожке стадиона.

Теперь посмотрим, как устроен этот тончайший слой, как он функционирует. Главное его предназначение – разделять. Он отделяет, как говорили древние, Небо от Земли, не даёт им смешиваться, не позволяет им исчезнуть друг в друге. Он их индивидуализирует, гарантирует автономность. В этом состоят запретительные функции слоя жизни. Конечно, речь идет не об абсолютном запрете. Любая граница немного «прозрачна». Она способна пропускать, но принципиально меньше того, что система вырабатывает и содержит. Запрет – это реальная возможность слабой *диссипации* (рассеяния).

Однако этот слой представляет собой открытую, а не изолированную систему: *он взаимодействует как с Землёй, так и с Небом*. И такая способность наделяет его ещё одним не граничным, а скорее пограничным качеством. Наш слой разрешает взаимодействовать, как бы общаться через себя, тем геосферам, которые сам разделяет, буфером для которых он является. Таким образом, граница, в которой человек живет, обладает

двумя взаимоисключающими качествами:

она способна разделять и одновременно обеспечивать взаимодействие тех сред, которые разделяет.

Собственно, так работают, наверное, все границы, даже государственные. Будучи везде «на замке», они открыты на таможенных и контрольных пунктах, открыты ..., но не во всякое время и не для всех. Иными словами на границах всегда где-то есть дырки (разрывы) и именно через них по определенным правилам происходит обмен веществом, энергией, информацией и т.д.

Таким образом, фундаментальные свойства граничного слоя, в котором человек живет, можно сформулировать так:

запрещать и разрешать, но разрешать не везде и не всегда.

Можно сказать, что человек не просто обитает в тонком слое между небом и землей, *он входит в этот слой как некий структурный элемент*, он функционирует как его часть, он завладел им, он сам устроен как этот слой.

К сожалению, приходится констатировать, что в своем слое человек ведет себя не лучшим образом. Он слишком много и бездумно разрушает, не думая о последствиях, ведёт себя как временщик.

Фактов человеческой глупости и наглости по отношению к Природе так много, что только их перечисление, наверное, заняло бы не одну длинную полку в книгохранилище. Со многими из них, особенно связанными с общечеловеческими трагедиями, такими как Чернобыльская авария, отравление почв пестицидами, разливами нефти знакомы, по-видимому, все.

Цель, которую я преследую, состоит не в том, чтобы ещё и ещё раз говорить о такого рода случаях и такого рода практике. Я не хочу рассказывать об экологических «страшилках». Хочется найти какой-то общий тон в характеристике деяний человека. Наверное, следует говорить не столько об авариях и катастрофах, сколько об обыкновенной, нормальной человеческой деятельности. Ведь и фашизм и социализм страшны были своей обыденностью, своей обыкновенностью.

Вот самая общая экологическая канва индустриального развития человечества:

1. Человек загрязняет атмосферу, повышая её агрессивность не только ко всему живому, но и по отношению к горным породам и воде, влияя тем самым на ход такого глобального процесса как выветривание (см. гл. 8).
2. Человек строит города, проводит в огромных объёмах добычу полезных ископаемых, создает крупные водохранилища, складировать отходы горнодобывающих, перерабатывающих, обогащительных и другого рода

предприятий. При этом он формирует гигантские свалки бытовых отходов вблизи крупных промышленных центров, золоотвалы у тепловых электростанций и т.д. Человек разрушает естественную поверхность Земли, урбанизирует целые ландшафты не только на отдельных участках, но и в крупных регионах, а через них, так или иначе, и на планете в целом. *Все это сегодня принято называть техногенезом.* Последствия здесь возникают самые разнообразные. Это не просто изменение рельефа, а через него характера распределения поверхностного и подземного водного стока, но и изменение излучающей, поглощающей и отражательной способности Земли по отношению к тепловому потоку Солнца. Это и формирование новых геохимических ландшафтов, чаще всего опасных для всего живого. Это и загрязнение поверхностных и подземных вод, почв, растений и т.д. Например, по оценкам специалистов только в одном Колымском регионе под ножами бульдозеров ежегодно уничтожалось около 15 тыс. гектаров таёжного ландшафта, что приводило к интенсивной деградации многолетней мерзлоты. В отвалах предприятий на территории только бывшего СССР накоплено более 52 млрд. тонн шлаков, коксовых, углесодержащих и других твердых отходов.

А вот пример тоже обыкновенной так называемой созидательной деятельности человека в береговой полосе суши.

Чрезмерная добыча галечника, гравия и песка в долинах рек черноморского побережья Кавказа (для строительных целей) привела к нарушению естественного баланса этого материала в береговой зоне шельфа, создав его острый дефицит. В результате чрезвычайно активизировались процессы разрушения берега, стали исчезать пляжи, активизировалась оползневая деятельность. Все это привело к регулярным деформациям единственной ветки железной дороги и зданий, осложнило работу морских портов, поставило под угрозу существование уникальной природной жемчужины – Пицундского мыса с его знаменитой реликтовой сосновой рощей (мыс – это конус выноса р. Бзыби). Процесс зашел так далеко, что в СССР была создана специальная фирма «Грузберегозащита», занимавшаяся искусственной отсыпкой пляжей. Так замкнулся круг – одни организации отнимали у моря существенную часть приходной статьи баланса песчано-гравийно-галечного материала, другие организации привозили этот материал и отсыпали его в береговой полосе, решая при этом очень не простые научные и инженерные задачи.

Теперь немного об океане.

Человек не живет в нем, но широко пользуется его услугами, как всегда, не оплачивая их и даже без «спасибо». Если снова ориентироваться не на аварии и экстремумы, такие как катастрофы с танкерами, или запуски ракет с подводных лодок, а на обычную человеческую деятельность, то можно сказать, что человек постепенно, но верно океан загрязняет. И, может быть, самая масштабная беда, которая нас при этом ожидает, состоит в разрушении *холодной плёнки океана* (см. главу 6 «Границы»).

Установлено, что загрязнение пагубно для неё. А что это значит? А значит это то, что изменяется водный баланс Земли, изменится климат, океан начнет исчезать в атмосфере и далее будет рассеиваться в космосе, поскольку внутриатмосферные границы человек ломает и ломает, как говорят в народе, «где ни попадя».

И вот мы подошли к концу нашего разговора о том, как живёт человек в границе. Не нам судить, хорошо он живёт или плохо. Он живёт так, как

живёт и, навряд ли будет жить по-другому. Он уничтожает то, что природа создала до него, полагая, что всё именно для него и было создано. Но ведь человек, разрушая, создаёт. Он создаёт совершенно новые системы и структуры, которых ранее на Земле не было.

Человек для природы тело не чужеродное, он её часть, её плоть и кровь. Значит, всё, что он творит нормально, это одна из ветвей эволюции Земли. Рано или поздно, но человек поймёт планетарный масштаб своей жизни, поймёт целостность Мира и, что важнее, ощутит её.

Я хотел показать, что человек живёт в слое между Небом и Землёй. Его жизнь связана с *формированием новой для Земли оболочки – техносферы. Техносфера и слой жизни совпадают в пространстве*. Слой же имеет два измерения: *вдоль и поперёк*. Большой русский писатель Андрей Битов, в книге «Оглашенные» эту тонкость очень глубоко подметил:

пока человек действует вдоль слоя, он живёт в реальности, но как только он двигается поперёк, он совершает поступки, могущие либо нарушить реальность слоя, либо вывести из реальности самого человека, его разум и душу.

Создавая города, дороги, пашни и др., человек как бы ползает вдоль слоя и потому особенно не меняет его, во всяком случае, принципиально. Но когда человек начал добывать нефть, природный газ, уголь, ядерное топливо, он стал перемещаться поперёк слоя. Он поднял из недр то, что принадлежало другой системе, другому слою – недрам. Он берёт не своё и продолжает брать всё больше и больше. Сжигая топливо недр, он изменяет тепловой и газовый баланс слоя жизни. Он корёжит его границы. А это уже поступки. Это уже принципиально. Они нарушают баланс слоя, выводя его из устойчивого состояния, меняют его характеристики.

Именно нарушения границ живого слоя создают для человечества принципиальные проблемы. Сможет ли оно их решить? Будем надеяться. Но для этого человек должен понять их фундаментально и, как говорят, правильно поставить задачу. Ведь построили же люди модель «ядерной зимы», почему же им не построить *модель сбалансированного слоя жизни* с тем, чтобы человеческая деятельность развивалась не как получится, а как задумано было Богом. Для этого человеку и дан разум – искра Божия.

Общий вывод:

никто человеку не может объяснить, как надо относиться к природе, как ему следует жить. Он должен понять это сам.

3.3. Внутренние оболочки.

Основные понятия.

1. **Земная кора** – существует несколько представлений:

- Синоним литосферы – каменная оболочка Земли до поверхности

Мохоровичича (классическое понятие).

- Самая верхняя оболочка земного шара, доступная непосредственному наблюдению. К ней относят нижнюю часть атмосферы, гидросферу в географическом понимании, верхнюю часть литосферы (литосфера – часть земной коры). Такое «определение» принято в геохимии и минералогии.
 - Земная кора – верхняя часть литосферной плиты.
2. **Литосферная плита** – поверхностный прочный слой Земли, с хрупкими деформациями (реологическое определение).
 3. **Поверхность Мохоровичича** – поверхность, являющаяся границей между литосферой и подкоровым веществом, установлена на основании изменения скорости прохождения продольных и поперечных сейсмических волн.
 4. **Мантия** – область, включающая весь вещественный комплекс между границей Мохоровичича (30-35 км по радиусу вглубь Земли) – подошвой литосферы и границей Гуттенберга (2900 км) – наружной границей ядра.
 5. **Ядро земли** – центральная область Земли, ограниченная сферической поверхностью, средний радиус которой равен 3470 км (средняя глубина 200 км).
 6. **Внешнее ядро, переходная зона, внутреннее ядро** – структурные элементы ядра Земли.
 7. **Сейсмические волны** – упругие волны, возникающие и распространяющиеся в Земле при землетрясениях, взрывах и ударах.
P-волны – продольные колебания, представляющие собой направленное сжатие и расширение элементарных объемов сферы.
S-волны – поперечные колебания совершаются, представляющие собой смещения, связанные с вращением элементарных объемов (колебания поперек фронта движения волны).
 8. **Сиаль (сиалическая оболочка)** – внешняя оболочка литосферы, сложенная породами, в состав которых входят преимущественно кремний и алюминий.
 9. **Сима** – оболочка Земли, залегающая под сиалем, сложенная породами в состав которых входят преимущественно кремний и магний.
 10. **Поверхность (граница) Конрада** – разделяет гранитный и базальтовый слои земной коры.
 11. **Рифт** – расселина, ущелье (англ). В геологии обозначает разлом с растяжением. Примеры: Байкальский рифт, рифт Красного моря, Срединно-Атлантический подводный хребет с рифтом в осевой части.
 12. **Трубка взрыва** – трубкообразный канал образующийся в результате прорыва газов. Наиболее крупные достигают 1 км в диаметре. Некоторые трубки являются алмазоносными, например трубка «Мира» в Якутии.
 13. **Петрология** – наука, изучающая магматические и метаморфические горные породы с точки зрения их вещественного состава, геологических особенностей и генезиса.
 14. **Закон дисимметрии** – соответствие внутренней симметрии объекта и симметрии внешней – среды.
 15. **Солидус** – фазовая граница на диаграмме *состав–температура* между твердой фазой и областью частичного плавления.
 16. **Астеносфера** – слой, не выдерживающий касательных напряжений. Его реологические свойства соответствуют состоянию частичного плавления

пород.

17. Реология – наука о текучести вещества.

18. Перидотиты – общее название для глубинных пород. Считаются производными глубинных мантийных магм.

19. Эклогиты – обычно считаются метаморфической породой, возникающей в условиях высокой температуры и высокого давления.

Общая характеристика.

По различным геофизическим параметрам, в частности, по скорости прохождения *сейсмических волн*, твердый объем нашей планеты в настоящее время довольно четко разделяется на четыре сферы (оболочки): *кору, мантию, внешнее ядро и внутреннее ядро*. (См. табл. 3.6).

Земная кора. В первоначальном классическом варианте понятие земной коры отождествлялось с понятием *литосферы*. Её внешняя граница проводилась по поверхности суши и дну морей и океанов, а нижняя – по *поверхности Мохоровичича*, часто называемой сокращённо поверхностью *Мохо* или границей *М*.

До недавнего времени слой этот назывался ещё *сиаль* (от слов *silicium* – кремний и *aluminium* – алюминий), что отражало определённое представление о его составе, в отличие от нижележащих слоёв под названием *сима*, в которых по преобладанию место алюминия занимал уже магний (*magnium*). В целом эта классификационная схема подтверждается и сегодня, хотя в деталях (во многом принципиального порядка) она существенно усложнилась.

Нетрудно видеть, что, эксплуатируя термин *сиаль*, мы тем самым сознательно не замечаем внутренних различий в устройстве этого слоя, подчёркивая лишь наиболее общие его черты – классификационные признаки самого высокого порядка. Тем не менее, даже когда термины *сиаль* и *сима* использовались широко, земная кора уже разделялась на два типа:

- континентальную и
- океаническую.

Первая состояла из трёх слоёв – *осадочного, гранитного и базальтового*. Они отличались по плотности, по составу и мощностям. Их суммарная мощность составляет порядка 30–40 км, достигая максимальных значений под горными сооружениями (50–70 км), где кора образовывала так называемые корни гор. Океаническая кора рассматривалась *двухслойной* (без гранитного слоя) и имела существенно меньшую мощность, обычно не превышающую 10 км. Базальтовый слой трактовался как некая единая сфера, по которой в принципе куски гранитного слоя континентов могли даже перемещаться [известная гипотеза А.Л. Вегенера о дрейфе материков, 1915 – 1929 гг].

Перед тем как остановиться на современной схеме строения земной коры хотелось бы подчеркнуть, что эти модели построены преимущественно на *косвенных данных, в основном на геофизической информации*. Это продукт её интерпретации, контролируемый достаточно общими теоретическими концепциями, принимаемыми большинством специалистов. Правда, за последние два-три десятилетия косвенная информация стала более совершенной и, что особенно важно, появилось значительное количество прямых наблюдений и измерений, ставших возможными благодаря сверхглубокому бурению и исследованиям в *рифтовых областях и трубках взрыва* – участках, где глубинный материал верхней мантии поднят достаточно близко к поверхности Земли.

Средний химический состав земной коры.

Первые работы по определению среднего химического состава земной коры были выполнены американским химиком Ф.В. Кларком (1889 г). Позже их продолжили многие крупные учёные, среди которых следует выделить имена В.М. Гольдшмидта, В.И Вернадского, А.Е Ферсмана, А.П. Виноградова. Сегодня средние содержания, называемые еще числами Кларка (по предложению акад. А.Е. Ферсмана), известны для 92 элементов таблицы Менделеева. Их выражают в различных единицах: г/т, вес. %, атомные %, объемные % (см. табл.3.6). Кроме среднего состава земной коры средние показатели вычислены также для различных типов пород, каменных метеоритов, океанических и речных вод.

Таблица 3.6.

Выборочные данные о среднем составе земной коры по А.Е. Ферсману (вес.%)

№ п/п	Химические элементы	Числа Кларка
1	Кислород	49,13
2	Кремний	26,00
3	Алюминий	7,45
4	Железо	4,20
5	Кальций	3,25
6	Натрий	2,40
7	Магний	2,35
8	Калий	2,35
9	Водород	1,00
10	Титан	0,61
11	Хлор	0,20
12	Сера	0,10
	Остальные 80 элементов	0,96

100,00

PS. А.Е.Ферсман при оценках среднего состава учитывал гидросферу и атмосферу. См. определение земной коры в «*основных понятиях*».

Некоторые данные о внутренних частях Земли

Слой	Толщина (мощность), км	Глубина раздела, км	Объем, %	Скорость сейсмических волн, км/с**		Вычисленная плотность, г/см ³
				P-волны	S-волны	
Кора	5—40*		1,5	5,8—7,6	3,2—3,4	2,8
		Изменчива		Раздел Мохоровичича		
Мантия	2860		82,3	7,9—8,2 13,6	4,3—4,6 7,3	3,3—3,4 5,5—5,8
Внешнее ядро	2200	2900	15,4	Раздел Гутенберга		9,4—10 12
		5120		Граница внешнего и внутрен- него ядра		
Внутреннее ядро	1250		0,8	11,1	—	13—13,5 (среднее)
		6371		11,3		

Новая информация позволяет строить структурные схемы земной коры, лучше, чем раньше отражающие её сложность. Однако это всегда будут лишь интерпретации, так как по меткому выражению Л.Тейлора, легче

измерить, чем понять что измеряется.

Описание типов земной коры по В.В.Белоусову [1975].

Материковая кора. Её мощность оценивается от 20 до 80 км. Связь морфологических особенностей нижней границы с рельефом поверхности Земли (существование корней гор), как это довольно жёстко трактовалось до недавнего времени, у В.В.Белоусова не просматривается так однозначно и находит различные теоретические объяснения: *по схемам Дж.Эри и Дж.Пратта – английских геодезистов XIX-го века.*

По Дж.Эри в пределах земной коры плотность везде одинакова и постоянна во времени. Поэтому положительные неровности планетарного рельефа земной поверхности, создающие локальный избыток массы, должны компенсироваться отрицательными неровностями поверхности *Мохо*, создающими уравнивающую выталкивающую силу в поле силы тяжести Земли со стороны подстилающего слоя *сима*. Отрицательным неровностям рельефа, наоборот, должны соответствовать положительные морфологические формы *Мохо*. Для планетарных масштабов в целом это правило соблюдается, во всяком случае, там, где *допущение постоянства плотности приемлемо на уровне аппроксимаций*. Навряд ли в природе соблюдается допущение Дж.Эри, но принять такое условие можно, хотя его не следует абсолютизировать.

По Дж.Пратту плотность коры не есть константа и дефицит или избыток масс, создаваемый рельефом поверхности Земли, компенсируется соответствующими изменениями плотности *по силам*.

Самый верхний, осадочный, слой имеет прерывистое распространение и при средней мощности 3 км местами отсутствует, а иногда достигает 20 км.

Второй слой, гранитный, теперь чаще называют *гранито-гнейсовым*. Судя по выходам этого слоя на поверхность Земли (Балтийский, Канадский, Анабарский и другие регионы), приблизительно на 50% он состоит из гранитов, на 40% – из гнейсов и других среднетемпературных метаморфических пород. Мощность второго слоя обычно колеблется от 8 до 25 км, хотя в некоторых районах он даже не обнаружен.

Третий, базальтовый, слой теперь чаще называют *гранулитобазитовым* или *просто нижней корой*, так как он сложен главным образом метаморфическими и магматическими породами зон высоких температур и давлений (их общее название – *гранулиты и базиты*).

Граница между гранито-гнейсовым и гранулитобазитовым слоями носит название *раздела Конрада*. Характерно, что по вещественному составу образцов пород из Кольской сверхглубокой скважины граница Конрада не

фиксируется. По данным *сейсмоки* она есть, а по данным *петрологии* её нет.

Этот факт является принципиально важным. Он свидетельствует о том, что наши *вещественные интерпретации* геофизических данных, основанные на изучении физических свойств разных горных пород, извлечённых на поверхность Земли, могут быть недостаточно надёжными.

Океаническая кора. *Верхний, осадочный, слой* этой коры существенно тоньше, чем на материках и обычно достигает всего нескольких сотен метров. Аномальными выглядят лишь так называемые океанические желоба, мощность осадков в которых может быть как существенно выше средней и достигать 6,5 км (юго-запад Японских островов) или более 3 км (северные берега Колумбии), так и намного ниже – практическое отсутствие осадков в желобе, вдоль подводного хребта в центральной части Индийского океана. Вообще же океаническое дно мы знаем ещё значительно хуже континентов и потому в будущем наши представления о распределении осадочных пород в океане могут сильно измениться.

Гранито-гнейсовый слой в коре океанического типа не обнаружен. *Вторым* для океана является *базальтовый слой*. Третий предположительно состоит из различных основных и ультраосновных пород.

Дно мирового океана активно разбурируется и вообще исследуется в широком геолого-геофизическом аспекте. Поэтому говорить о какой-то достаточно установившейся модели строения океанической коры ещё рано.

Сегодня здесь больше вопросов, чем ответов. Ясно лишь одно: *океанический тип коры мало чем похож на континентальный*. Он сложен и своеобразен.

Его второй и третий слои по петрологическим характеристикам не имеют аналогов на континентах. Материковая кора полностью обрывается на континентальном склоне и замещается совершенно другой корой.

Современные взгляды на земную кору.

Деление земной коры на два типа, как и всякая классификационная схема, представляет собой некую *конвенцию (соглашение)*. Её можно усложнить и при необходимости довольно сильно. Поэтому не случайно некоторые авторы стали выделять ещё и промежуточные типы коры: *субокеанический и субконтинентальный*. Не будем эти типы обсуждать. Заметим только, что по вещественному составу, структуре, физическим свойствам, фазовому состоянию земная кора очень разнообразна, расчленена разломами на блоки, блоки смещены, часто повернуты и т.д. Поэтому всякое классификационное усложнение должно быть

мотивировано определённой целью или задачей. Некоторое представление о строении верхней части земной коры может дать рис.3.13.



Рис. 3.13. Схематический разрез западной части Средиземного моря (по В.В.Белоусову [1975]).

Фактический материал по вещественной и физической структуре земной коры на континентах и океанах показывает их весьма существенное различие, причины которого во многом ещё не ясны. Однако есть основания предполагать, что их поиск приведет к пониманию важной роли в геологическом развитии Земли таких фундаментальных законов, как закон *дисимметрии*, открытый П. Кюри и развитый для геологии В.И. Вернадским, Б.Л. Личковым и И.И. Шафрановским.

Обратим внимание на один известный, но почему-то практически не обсуждаемый в учебной литературе факт. Поверхность Мохо — это только сейсмическая граница. Её вещественная природа весьма проблематична, тем более, что и сейсмическими методами она установлена уверенно не везде.

Исследования показывают, что граница Мохо, оставаясь важнейшей сейсмической поверхностью, с позиций тектоники и устройства гравитационного поля Земли не является уникальной. Границу верхнего, жесткого слоя Земли, т.е. собственно литосферы (*литосферной плиты*), следует проводить не по поверхности Мохо, а ниже — в верхней мантии.

Очевидно, что при таком подходе к пониманию литосферы (при рассмотрении её как некоторой жесткой и в целом даже хрупкой оболочки Земли), нижняя граница смещается существенно ниже границы Мохо, и *понятие литосферы и земной коры перестают быть тождественными*. Земная кора становится верхней частью литосферы (*литосферной плиты*). (См. рис. 3.14).

Именно так обстоит дело в *тектонике плит* — глобальной геологической концепции, разработанной для создания кинематической модели верхних слоев Земли (см. гл.7).

Идеи плитной тектоники, может быть впервые в геологии, внесли в наше мышление требование физической строгости основных понятий и привели к физической обоснованности аппарата для моделирования глобальных механических перемещений в верхних слоях Земли.

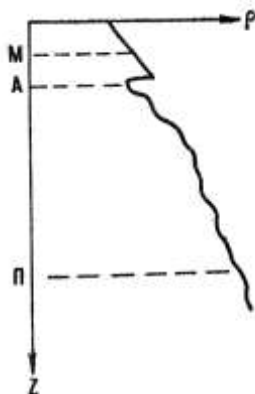


Рис. 3.14. Принципиальный график изменения плотности пород ρ с глубиной Z .

А – нижняя граница литосферной плиты (около 70 км под океанами и около 140 км под щитами). М – поверхность Мохо. П – граница так называемой переходной области (глубина около 870 км).

Верхняя ее часть до глубины 250-400 км называется астеносферой.

Наряду с рассмотренными представлениями, в геологии существует *ещё одно понятие земной коры*, которое иногда используется в *геохимии и минералогии*. Здесь под земной корой понимается самая верхняя оболочка Земли, доступная непосредственному наблюдению. К ней относят не только твердую часть Земли до поверхности Мохо, но и вышележащие слои:

- гидросферу в географическом понимании этого термина (океаны, моря, реки и т.д.) и
- прилегающие части атмосферы.

Эти представления о земной коре и литосфере отличаются друг от друга принципиально. Но они существуют в литературе и используются как в теоретических построениях, так и на практике. Потому следует знать это и понимать, чтобы грамотно использовать эти понятия.

Мантия.

Самая верхняя её часть называется астеносферой (см. Рис. 3.14). Этот слой обладает вязко-пластичными свойствами. Теоретически в нем могут возникать *конвективные течения*. Более глубокие слои мантии мы знаем лишь по косвенным, главным образом, геофизическим данным. Сегодня они позволяют сказать следующее:

1. Наиболее известными физическими характеристиками являются скорости Р- и S- волн, которые для большей части мантии определяются с погрешностью, не превышающей 2%, и служат надежной основой для суждения о ее физических

свойствах. Классическими являются кривые Б. Гуттенберга и Г. Джеффриса, которые самыми последними исследованиями лишь уточнены в деталях [Павлов, 1991]. Однако эти детали принципиальны. Они показали, что структура мантии, особенно верхней, достаточно сложна и заметно изменяется как по направлению радиуса Земли, так и в региональном плане. К подобному выводу приводит и анализ результатов по исследованию электропроводности мантии, значения которой могут отличаться от средней на порядок, как в плюсовую, так и минусовую сторону.

2. Один из способов оценки вещественного состава мантии состоит в измерении скоростей сейсмических волн в различных горных породах. Эксперименты такого рода показали, что скорости Р-волн 8,0-8,2 км/с, наблюдаемые ниже границы Мохо, присущи двум видам известных ультраосновных пород – *перидотитам* и *эклогитам* (при соответствующих мантии температурах и давлениях). Именно это обстоятельство позволило предполагать, что мантия представлена преимущественно породами ультраосновного состава, сходными с перидотитами и эклогитами.
3. По классической схеме в мантии выделяют три зоны:
 - В – верхнюю мантию, астеносферу (33 – 400 км);
 - С – переходную зону (400 – 1000 км);
 - D – нижнюю мантию (1000 – 2900 км).

Ядро.

К.Е. Буллен на основании скоростного разреза Г. Джеффриса разделил ядро на три зоны:

- слой E (2900 – 4980 км) – внешнее ядро;
- слой F (4980 – 5120 км) – переходная зона;
- слой G (5120 – 6370 км) – внутреннее ядро.

Зона F не имеет чётких границ, так как сама является граничной областью между слоями E и G. Однако вслед за К.Е. Булленом она выделяется многими специалистами. Вопрос о составе ядра остаётся ещё дискуссионным. Тем не менее, существуют и достаточно надежные интерпретации.

Внешнее ядро, по-видимому, является жидким. Это утверждение базируется на трех основных фактах:

- Прохождение через него поперечных волн наблюдениями не устанавливается.
- Существование вековых вариаций магнитного поля Земли (см.гл.4), которое при твердом слое E не могли бы появиться.
- Возникновение земных приливов – периодических деформаций твердого тела Земли.

Внутреннее ядро Земли, вероятно, является твердым. Так интерпретируется увеличение скорости волн Р в переходной зоне. Сейсмическая его структура ожидается довольно сложной.

Состав ядра рассматривается как железо-никелевый с примесями серы и кремния. Считается, что три его зоны по составу близки, хотя полного совпадения теоретически ожидать нельзя.

Общий вывод:

- представления о вещественном составе и структуре литосферы получены геологами и геофизиками не только на основе косвенной информации, но в значительной мере и на материалах натурных наблюдений и измерений;
- представления же о составе и строении мантии и ядра построены на косвенной информации, полученной на основе геофизических исследований, результатах экспериментальных работ и теоретических построений.

3.4. Планетарная линеаментная сеть.

Основные понятия.

1. **Линеамент** – (lineamentum – линия, черта), линейные или дугообразные структурные элементы планетарного значения, связанные на начальном этапе, а иногда и в течение всей истории с глубинными разломами. Термин предложен американским геологом У. Хоббсом (1904 г.). (Геологический словарь. Том 1. 1973 г.)
2. **Стресс-зона** – долгоживущая зона в земной коре, протяжённая в плане, вертикальная в разрезе, концентрирующая в себе напряжения, порождённые общепланетными (вероятно, ротационными, приливными и пульсационными) процессами, проявляющаяся в формировании линейных структурно-морфологических объектов. Совокупность стресс-зон образует стресс-сеть Земли [Анохин, 2006].
3. **Регматическая решётка** – сеть линеаментов. От англ. regmagensis – регмагенез (региональное проявление сдвиговых перемещений).
4. **Ротационные силы** – в геологии имеются в виду силы, связанные с вращением Земли.

Общая характеристика.

Линеаментные структуры Земли были замечены более 150 лет назад. Материалы наблюдений по ним накапливались на уровне различных масштабов – от локальных и региональных до глобальных. Сегодня, благодаря работам ФГУП ВНИИОкеангеология и системным исследованиям В.М. Анохина [2006], удалось установить четыре планетарно развитых направления ориентации таких структур. Они контролируются элементами рельефа, разломами суши и дна океанов:

- Субмеридианальное (0-10°).
- Субширотное (80-90°).
- Два диагональных – СВ (40-50°) и ЮВ (130-140°).

Многочисленные натурные измерения позволили в линеаментной сети выделить несколько иерархических уровней:

- структуры 1-2 порядков (планетарные);
- структуры 3-6 порядков (мегаформы);

- структуры 7-10 порядков (макроформы).

Они, хотя и влияют на рисунок структурного плана всех континентов и океанов, а также регионов в их составе, общий вид регматической решётки не меняют. Этот вывод подтверждается результатами статистического анализа. Он касается как коры континентального типа, так и океанического (см. рис. 3.15, 3.16).



Рис. 3.15. Карта космогонических объектов России (Геологический атлас России..., 1996 г.) [Анохин, 2006].

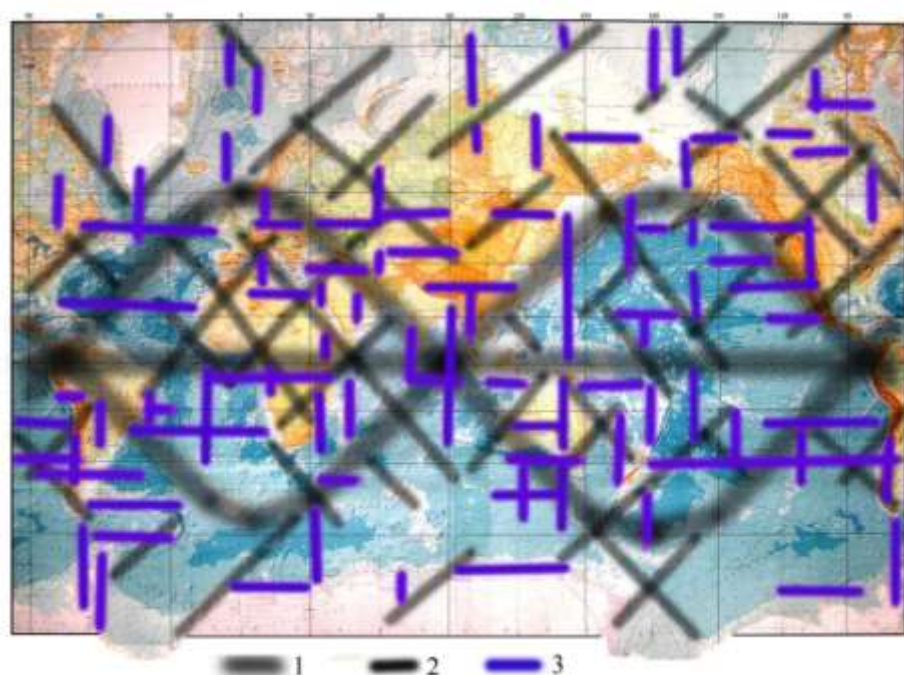


Рис. 3.16. Идеализированный рисунок упорядоченной сети наиболее крупных линейных структур Земли [Анохин, 2010. Дисс.]

1 – диагонали 1-го порядка; 2 – диагонали 2-го порядка; 3 – ортогональные линии 2-го порядка.

Современные взгляды на происхождение линеаментной сети.

Анализ разнообразного и обширного натурального материала по всем уровням регматической решётки Земли склоняет геологов к ротационному объяснению её происхождения (рис. 3.17).

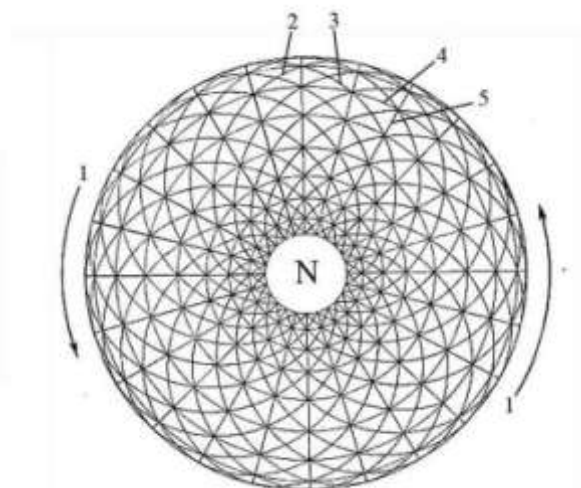


Рис. 3.17. Поле ротационных напряжений земной коры (Долицкий, 1963, 2002 г.)
[Анохин, 2006].

1 – направление вращения Земли; 2,3 – направление площадок, вдоль которых действуют максимальные касательные напряжения; 4,5 – направление площадок, которые действуют главные нормальные напряжения.

Такая позиция согласуется с фиксистскими представлениями на развитие нашей планеты, но входит в противоречие с идеями плитной тектоники (см. гл.7). Думаю, что несовместимость с неомобилистскими взглядами является кажущейся. Здесь могут быть найдены вполне удовлетворительные компромиссы [Павлов,2008].

Фиксистские и неомобилистские идеи в геологии.

К настоящему времени всё разнообразие тектонических идей и гипотез, которыми изобилует геологическая наука, обычно сводятся к концепциям фиксизма и неомобилизма. Литература по ним исключительно велика. Здесь нет надобности обсуждать детали этих взглядов. Достаточно показать их суть.

Фиксизм.

Идеи, которые сформировали фиксизм как тектоническое учение, разрабатывались в геологии более 150 лет. В современном виде они наиболее последовательно были представлены крупнейшим советским геологом чл. корр. АН СССР В.В. Белоусовым [1975]. Для материков им впервые были выделены и детально исследованы несколько классов эндогенных режимов, объединяющих по определенным схемам тектонические, магматические и метаморфические процессы. В их основу были положены представления о характере проницаемости земной коры для магм, её жидких и газообразных продуктов, тип и степень магматизма, региональный метаморфизм и гранитизация, степень контрастности глыбово-волновых и колебательных движений, соотношения между поднятиями и опусканиями земной коры, характер дислокаций. Это был результат ретроспективного анализа огромного геологического материала (картирования, бурения, геофизических исследований), накопленного и обобщённого

многими поколениями геологов и геологическими службами многих стран мира.

По океанической коре такого рода построений В.В. Белоусову сделать не удалось. Он настаивал лишь на том, что принципиально отличаются между собой не только океаническая и континентальные коры, но и участки верхней мантии, находящиеся под ними.

В результате можно сказать, что фиксизм построен на утверждении принципиального преобладания вертикальных движений тектоносферы над горизонтальными смещениями.

Неомобилизм.

Идеи неомобилизма в современной геологии оформились в виде теории под названием новая глобальная тектоника или теория плит. Суть её состоит в том, что литосфера (внешняя каменная оболочка Земли до астеносферы) расчленена на несколько крупных и мелких плит, перемещающихся относительно друг друга. Их границы контролируются глобальными системами эпицентров землетрясений – вокруг Тихого океана и вдоль срединно-океанических хребтов. Внутри плит сильных деформаций не происходит.

Выделяется три основных типа относительного движения плит:

1. Движение в разные стороны (расхождение или дивергенция).
2. Движение навстречу друг другу (схождение или конвергенция).
3. Проскальзывание относительно друг друга по трансформным границам.

За основную причину их перемещения принимаются конвективные течения в верхней мантии. Природа таких течений во многом ещё не ясна и имеет различные толкования.

Нетрудно увидеть, что неомобилизм эксплуатирует идеи преимущественного горизонтального перемещения. Они возникли на материалах геологических и в основном геофизических исследований в океанах.

Конфликт между взглядами фиксистов и неомобилистов очевиден и до недавнего времени казался неразрешимым. Попытки найти какие-то промежуточные интерпретации между этими противоположностями не находили поддержки в геологических кругах. Никто не хотел их обсуждать, поскольку конфликтующие стороны были крайне ортодоксальны и, как говорится, стояли на смерти за свои идеалы.

В 1983 г. мною было предложено фиксистские и неомобилистские схемы развития Земли разобщить во времени и пространстве:

- неомобилизм связывался с эпохами активных перестроек, определяемых получением квантов энергии (геократические эпохи);
- фиксизм – с эпохами эволюционных изменений.

Эти идеи возникли при разработке квантовой парадигмы геологии (см. гл. 1). К тому же они опирались ещё на тот факт, что плитная тектоника сформировалась на материалах геологического изучения современных океанов, состояние дна которых определяется геократической эпохой, начавшейся в четвертичном периоде.

Год или два назад эту идею поддержал и озвучил на одном из научных семинаров чл. корр. РАН проф. Ю.Е. Погребницкий (ВНИИОкеангеология).

Таким образом, можно констатировать, что компромисс между

ортодоксально настроенными фиксистами и неомобилистами сегодня начинает находить понимание среди геологов.

Здесь уместно обратить внимание ещё на одно обстоятельство:

- Нижняя граница литосферной плиты, представления о которой положены в основу неомобилизма, проходит по астеносфере. Её реологические свойства характеризуют вязко-пластичную среду. Очевидно, что устойчивая «разломность» в такой среде развиваться не может. Хрупкие деформации – это удел только толщи, лежащей на переходной зоне (см. рис. 3.14). Следовательно, движение литосферных плит, навряд ли принципиально изменит вид регматической решётки Земли. Оно только в какой-то степени может исказить её, что и наблюдается инструментально.

Общий вывод:

- *в масштабе планеты существует единая регматическая решётка линеаментов и разломов, в основе которой лежит глубинная и долгоживущая сеть напряженных зон – стресс-сеть.*

3.5. Современные представления о происхождении геосфер.

Основные понятия.

1. **Зонная плавка** – процесс, при котором вещество в виде тонкого стержня нагревается таким образом, что в нём возникает узкая зона плавления, которая медленно перемещается в определенном направлении вдоль стержня.
2. **Выщелачивание горных пород** – процесс избирательного растворения и вынос подземными водами отдельных компонентов горных пород.

Обзор основных представлений.

Существование геосфер в настоящее время рассматривается как факт самоочевидный, уже не требующий каких-то специальных доказательств. Проблема заключается лишь в том, чтобы объяснить, как геосферы возникли.

В геологии широко развиты представления об образовании геосфер в результате дифференциации первичного земного вещества. Обзор этих взглядов можно найти в работах Е.В. Посохова. Пожалуй, наиболее популярны из них разработки В.М. Гольдшмидта, У. Руби и академика А.П. Виноградова. Последний связывал образование геосфер с процессом *зонной плавки мантийного вещества*. Под влиянием энергии гравитационного сжатия Земли и радиоактивного распада в первую очередь таких элементов как уран, торий и калий-40, происходил разогрев планеты, приводящий к дифференциации её вещества. Суть зонной плавки состоит в *конвективном перемешивании* расплава:

- нижние, более нагретые массы, перемещаясь вверх в виде «струй», плавят кровлю расплавленной зоны,
- верхние, менее нагретые, перемещаясь вниз, кристаллизуются.

Эта схема основана на гипотезе «холодного» начала Земли, получившего развитие под влиянием *аккреционной* теории образования планет Солнечной системы О.Ю. Шмидта и других исследователей.

Зонная плавка – один из возможных вариантов механизма дифференциации вещества Земли, способной привести к образованию геосфер. Поскольку сама задача является ретроспективной (обратной), то уже один этот факт предполагает множественность объяснений.

Примером другой схемы дифференциации могут служить разработки Б.Г. Лутца, сводящиеся к глубинному магматическому кислотному *выщелачиванию*. Определяющим в его схеме является режим газо-флюидной фазы в процессе магмаобразования. Именно летучие компоненты и вода главным образом лимитируют количество магмы, выплавляемой в мантии.

Идеи дифференциации глубоко внедрились в сознание геологов. На их основе были разработаны многочисленные тектонические концепции. Представление о них можно получить из трудов В.В. Белоусова, В.Е. Хаина, А.Е. Михайлова и других крупных геологов России.

Однако существуют и принципиально новые модели образования геосфер, постулирующие не «холодное», а «горячее» начало Земли и эксплуатирующие идею образования звезд из газовых туманностей в процессе их гравитационного сжатия. Наиболее характерной из них является модель С.П. Кларка (мл.), К.К. Турекьяна и Л. Гроссмана. Она рассматривает неоднородную аккрецию Земли. Эта модель вполне обходится без дифференциации. В соответствии с ней геосферы возникли независимо друг от друга по дискретной схеме конденсации начальной горячей газовой туманности. Очевидно, что возраст геосфер здесь уже не одинаков:

- наиболее древним является ядро, а
- самой молодой – атмосфера.

Дифференциация вещества в этой модели отсутствует как процесс возникновения геосфер. Однако модель его не запрещает. Этот процесс может быть наложенным, и первично возникшие при конденсации вещества планетарной туманности геосферы позже могут усложняться в своем составе и вещественной структуре под действием дифференциации собственного вещества и вещества соседних нижележащих слоев.

Общий вывод:

представления о происхождении геосфер – суть модели.

Контрольные вопросы

1. Объясните принципы построения гипсографической кривой.
2. Что такое географические гомологии?
3. Что такое горные параллели и меридианы?
4. Что Вы можете сказать о геометрической симметрии в устройстве поверхности Земли.
5. Дайте общую характеристику состава и структуры атмосферы.
6. Что такое гидросфера. Какие фундаментальные ее свойства Вы знаете?
7. Что такое земная кора? Объясните существующие представления о ней (геологические, геохимические, по модели тектоники плит).
8. Сравните материковый и океанический типы земной коры.
9. Охарактеризуйте литосферу в понимании тектоники плит.
10. Что Вы знаете о мантии и ядре Земли?
11. Линеаментная сеть. Что это такое?
12. Приведите основные черты модели неоднородной аккреции Земли.

Литература

Основная

1. Аллисон А., Палмер Д. Геология. – М.: Мир, 1984. – 565 с.
2. Анохин В.м. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. – СПб.: Недра, 2006. – 161 с.
3. Белоусов В.В. Основы геотектоники. – М.: Недра, 1975. – 264 с.
4. Общая и полевая геология. Под ред. А. Н.Павлова. – Л.: ЛО Недра, 1991. – 456с.
5. Павлов А.Н. Справочное руководство к практическим занятиям по геологии. – СПб.:РГГМУ, 2004. – 53 с.
6. Якушова А.Ф., В.Е. Хаин, В.И. Славин. Общая геология. – М.: МГУ, 1988. – 445 с.

Дополнительная

1. Кларк мл. С.П. , Турекьян К.К. , Гроссман Л. Модель ранней истории Земли. В кн. Природа твёрдой Земли. – М.: Мир, 1975. – С. 9 –23.
2. Павлов А.Н. Системная модель подземной гидросферы. В кн. Подземные воды и эволюция литосферы // Материалы Всесоюзной конференции. Том I. – М.: Наук, 1985. – С. 139-150.
3. Павлов А.Н. Основы экологической культуры. – СПб.: Политехника, 2004 б. – 334 с.
4. Павлов А.Н. Конфликты и компромиссы в науке. Третье направление // Учёные Записки РГГМУ, № 6, с. 155-169.