Глава 1. Планета Земля. Параметры, внутреннее устройство Земли и её место в Солнечной системе.

В главе 1 собрана общая информация о параметрах Земли, геоконстантах, размерах земного шара, химическом составе земных оболочек, высоте Солнца, продолжительности дня, температуре ядра и мантии, распределении физических параметров (плотности, скоростей сейсмических волн, модулей упругости и т.д.) по радиусу Земли. В главе дается информация об эволюции Земли, о том, что достоверно и что не совсем достоверно известно о Земле. Говорится о некоторых ошибках и заблуждениях в общепринятой модели холодной Земли, о том, как изменялись представления о Земле по мере развития науки.

Земля - планета Солнечной системы.

1.1. ***Параметры Земли.***

Геоконстанты

Наибольшее расстояние от Земли до Солнца (афелий, начало 5 июля)	152 000 000 км
Наименьшее расстояние от Земли до Солнца (перигелий, начало 3 января)	147 000 000 км
Среднее расстояние от Земли до Солнца (приближенно)	149 509 000 км
Время прохождения света от Солнца до Земли	8 мин 18 с
Видимый угловой диаметр Солнца	32'
Период обращения Земли вокруг Солнца (тропический год)	365 дней 5 ч 48 м 46 с
Длина земной орбиты	939 120 000 км
Средняя скорость движения Земли по орбите	29,76 км/с
Наклон земной оси к плоскости эклиптики (плоскости орбиты)	66°33'19"
Время полного оборота вокруг своей оси (звездные сутки)	23ч. 56м. 4,1с. ср. солн. врем.
Скорость точки экватора вследствие суточного вращения Земли	465 м/с
Среднее расстояние от Земли до Луны	384 395 км
Масса Луны	$7{,}35 \cdot 10^{22}$ кг

Размеры земного шара (эллипсоида)

Экваториальный радиус	6378 км
Полярный радиус	6357 км
Средний радиус Земли	6371 км
Длина экватора	40076 км
Длина меридиана	40008 км
Поверхность Земли	510 млн.км^2
Поверхность Мирового океана	361 млн.км^2
Поверхность суши	149 млн. км^2
Объем Земли	1083320 млн. км^3
Масса Земли	5,975*10^{24} кг
Средняя плотность Земли	5520кг/м^3
Сжатие земного эллипсоида	1:298,25
Ускорение силы тяжести	
а) на экваторе	9,78049 м/сек^2
б) на полюсе	9,83235 м/сек^2
в) стандартное	9,80665 м/сек^2
Момент инерции отн. оси вращ.	8,104 × 10^{37}кг·м^2

Химический состав земной коры (в %)

Элементы	%
Кислород	46,8
Кремний	27,3
Алюминий	8,7
Железо	5,1
Кальций	3,6
Натрий	2,6
Калий	2,6
Магний	2,1
Прочие	1,2

Параметры Земли

Отношение центробежной силы к ускорению силы тяжести	3.47 10^{-3}
Отношение массы Земли к массе Луны	81.303
Период чандлеровского колебания, сутки	431
Угловая скорость прецессии	50.25 с/год
Период прецессии	25800 лет
Лунно-солнечный момент, вызывающий прецессию	4.14 10 ^{29} дин·см
Лунный приливообразующий момент	3.9 10^{23} дин·см
Масса атмосферы	5.1 10^{21} г
Масса океанов	1.4 10^{24} г
Масса земной коры	2.4 10^{25} г
Масса мантии	4.1 10^{27} г
Масса ядра	1.9 10^{27} г
Полный термический поток	1.0 10^{28} эрг/год
Солнечная постоянная	1.3 10^{6} эрг/см^{2}с
Возраст Земли	4.55 10^{9} лет
Конец последнего оледенения	11 тыс. лет назад
Плотность: гранита, базальта, осадочных пород, г/см^3	2.67; 2.85; 2.45
Удельная теплоемкость: гранита, базальта, кал/г·град	0.20; 0.22
Теплопроводность: гранита, базальта, кал/град·см·с	710^{-3}; 510^{-3}
Градиент температуры в поверхностном слое	2.010^{-4} град/см
Магнитный дипольный момент Земли	8 10^{25} ед. СГСМ

Полуденная высота центра Солнца над горизонтом на разных широтах в дни равноденствий и солнцестояний

Широта	21.03 - весеннее равноденствие	22.06 -летнее солнцестояние	23.09 - осеннее равноденствие	22.12 - зимнее солнцестояние
90°	0	23,5	0	- 23,5*
85°	5	28,5	5	- 18,5
80°	10	33,5	10	- 13,5
75°	15	38,5	15	- 8,5
70°	20	43,5	20	- 3,5
68°	22	45,5	22	- 1,5
66,5°	23,5	47,0	23,5	0,0

* "Минус" означает, что Солнце стоит ниже горизонта.

Продолжительность дня на разных широтах в Северном полушарии

Широта	Самый длинный день (лето)	Самый короткий день (зима)
0°	12 ч 00 мин	12 ч 00 мин
10°	12 " 35 "	11 " 25 "
30°	13 " 56 "	10 " 04 "
40°	14 " 51 "	9 " 09 "
50°	16 " 09 "	7 " 51 "
66,5°	24 " 00 "	0 " 00 "

Оценки значений температуры в ядре и мантии.

Область	Изменение температуры, К	Температура, К
Поверхность	–	273
Литосфера	1300±100	–
Основание литосферы	–	1600±100
Адиабата в верхней мантии	150±20	–
Переход оливин–шпинель	90±30	–
Сейсмическая граница на глубине 410 км	–	1800±200
Адиабата в переходной зоне мантии	120±30	–
Переход рингвудит–перовскит	–70±30	2000±250
ТПС в переходной зоне	500±500	–
Основание переходной зоны	–	1900–2900
Адиабата в нижней мантии	700±200	–
ТПС в зоне *D″*	800±700	–
Граница ядро–мантия (ЯМГ)	–	3900±600
Адиабата во внешнем ядре	1000±400	–
Граница внешнее–внутреннее ядро	–	4900±900
Центр Земли	–	5000±1000

Фундаментальные характеристики Земли. Земной радиус, по оценке Машимова (1996), уменьшается в настоящее время со скоростью 1 см в год, полярное сжатие уменьшается на 1×10^{-9} в год, а центр инерции смещается в юго-западном направлении на 2 см в год. Изучение фундаментальных характеристик Земли показывают, что:

1. По данным повторных гравиметрических наблюдений, сила тяжести увеличивается со скоростью $dg/dt \approx 4$ мкГал в год. Оценка dg/dt по изменению GM и уровенного потенциала геоида W_o, дает величину несколько меньшую: 3 мкГал/год.

2. Уменьшение объема Земли $1/V\times(dV/dt) \approx -0.2\times10^{-10}$ год$^{-1}$. При этом объем ложа океана уменьшается со скоростью 0.03 км^3/год.

3. Произведение гравитационной постоянной на массу Земли (GM) постоянно с точностью, не хуже 10^{-11} год$^{-1}$.

4. Динамический параметр J_2, определенный по наблюдениям векового возмущения расстояния перигея орбиты ИСЗ, равен 10^{-10} год$^{-1}$.

5. Каждый год на Земле происходит более 1 млн. землетрясений с магнитудой M ≥ 3. Общая выделяющаяся энергия 10^{26} эрг в год. Землетрясения, как и вулканы, меняют «лик Земли» и её динамические характеристики: тензор инерции и геоид. ***Динамика Земли главным образом связана с изменением параметров геоида.***

6. Основные интегральные характеристики, определяющие динамику Земли, это полярное сжатие α, экваториальное сжатие α_e и долгота λ_o большой полуоси экваториального эллипса геоида. Вековые изменения этих параметров: $d\alpha/dt = -0.22\times10^{-9}$ год$^{-1}$, $d\alpha_e/dt = 3.6\times10^{-9}$ год$^{-1}$, $d\lambda_o/dt = -0.3'$ год$^{-1}$. Современные данные: $\alpha = 0.0033528132$; $\alpha_e = 0.0000108728$; $\lambda_o = -14°\ 54'$.

7. Наблюдаемое уменьшение моментов инерции (не более 0.16×10^{-6} год$^{-1}$) соответствует уменьшению объема геоида.

PREM – Preliminary Reference Earth Model (предварительная модель Земли).

Физические параметры модели Земли PREM для глубин 0–220 км.

Радиус, км	Глубина, км	Плотность, г/см^3	v_{PV}, км/с	v_{PH}, км/с	v_{SV}, км/с	v_{SH}, км/с	η	Q_μ	Q_K
6151.0	220.0	3.3595	7.8005	8.0486	4.4411	4.4363	0.9765	80	57822
6291.0	80.0	3.3747	7.9591	8.1501	4.4089	4.5619	0.9221	80	57822
6291.0	80.0	3.3747	7.9591	8.1501	4.4088	4.5619	0.9221	600	57822
6346.6	24.4	3.3808	8.0221	8.1904	4.3960	4.6118	0.9005	600	57822
6346.6	24.4	2.9000	6.8000	6.8000	3.9000	3.9000	1.0000	600	57822
6356.0	15.0	2.9000	6.8000	6.8000	3.9000	3.9000	1.0000	600	57822
6356.0	15.0	2.6000	5.8000	5.8000	3.2000	3.2000	1.0000	600	57822
6368	3.0	2.6000	5.8000	5.8000	3.2000	3.2000	1.0000	600	57822
6368	3.0	1.0200	1.4500	1.4500	0	0	1.0000	0	57822
6371	0	1.0200	1.4500	1.4500	0	0	1.0000	0	57822

A, кбар	C, кбар	L, кбар	N, кбар	F, кбар	v_P, км/с	v_S, км/с	Давление, кбар
2176	2044	663	661	831	7.9897	4.4189	71.1
2242	2138	656	702	857	8.0769	4.4695	24.5
2242	2138	656	702	857	8.0769	4.4695	24.5
2268	2176	653	719	866	8.1106	4.4909	6.0
1341	1341	441	441	459	6.8000	3.9000	6.0
1341	1341	441	441	459	6.8000	3.9000	3.3
875	875	266	266	342	5.8000	3.2000	3.3
875	875	266	266	342	6.8000	3.2000	0.3
21	21	0	0	21	1.4500	0	0.3
21	21	0	0	21	1.4500	0	0.0

Физические параметры модели Земли PREM для глубин 220–6371 км.

Уровень	Радиус, км	Глубина, км	Плотность, г/см^3	V_P, км/с	V_S, км/с	Q_μ	Q_K	Q_P
1	0	6371.0	13.08	11.26	3.66	85	1328	431
2	1221.5	5149.5	12.76	11.02	3.5	85	1328	445
3	1221.5	5149.5	12.16	10.35	0	0	57822	57822
4	3480.0	2891.0	9.90	8.06	0	0	57822	57822
5	3480.0	2891.0	5.56	13.71	7.26	312	57822	826
6	3630.0	2741.0	5.49	13.68	7.26	312	57822	822
7	5600.0	771.0	4.44	11.06	6.24	312	57822	730
8	5701.0	670.0	4.38	10.75	5.94	312	57822	759
9	5701.0	670.0	3.99	10.26	5.57	143	57822	362
10	5771.0	600.0	3.97	10.15	5.51	143	57822	362
11	5971.0	400.0	3.72	9.13	4.93	143	57822	366
12	5971.0	400.0	3.54	8.90	4.76	143	47822	372
13	6151.0	220.0	3.43	8.55	4.64	143	57822	362

Уровень	Ф, км^2/с^2	K_S, кбар	μ, кбар	σ	Давление, кбар	dK_S/dP	η_B	Ускорение см /с^2
1	108.90	14253	1761	0.440	3638.5	2.33	0.99	0
2	105.25	13434	1567	0.443	3288.5	2.34	1.00	440.0
3	107.24	13047	0	0.500	3288.5	3.75	1.03	440.0
4	65.04	6441	0	0.500	1357.5	3.57	0.98	1068.2
5	117.78	6556	2938	0.305	1357.5	1.64	0.99	1068.2
6	116.76	6412	2899	0.309	1269.7	1.64	1.01	1048.2
						3.33		
7	70.52	3133	1730	0.266	282.9	3.84	0.97	999.8
						2.98		
8	68.47	2999	1548	0.279	238.3	3.03	0.98	1001.4
9	64.03	2556	1239	0.291	238.3	2.40	0.37	1001.4
10	62.61	2489	1210	0.290	210.4	2.37	0.37	1000.3
						8.09	1.98	
11	50.99	1899	906	0.294	133.5	7.26	1.73	996.8
12	48.97	1735	806	0.298	133.5	3.37	0.83	996.8
13	44.50	1529	741	0.291	71.1	3.23	0.78	990.4

Что достоверно известно о Земле? Откроем любой учебник по физике Земли, или популярную книгу на эту тему, и в каждой из них встретим одни и те же рассуждения о том, что Земля состоит из железного ядра, силикатной мантии и земной коры: континентальной и океанической (рис. 1-1). Ядро Земли состоит из двух оболочек: центрального твердого кристаллического ядра, которое находится внутри расплавленного железного внешнего ядра.

В жидком внешнем ядре происходит генерация геомагнитного поля, которое, - по структуре силовых линий, можно уподобить большому железному магниту, расположенному вдоль оси вращения планеты таким образом, что на северном географическом полюсе находится южный магнитный полюс, а на южном географическом полюсе – северный, магнитный (рис.1-2). Названы они так по аналогии с железным магнитом, у которого силовые линии выходят из «северного полюса» и «входят» – в «южный», хотя принято считать полюс на севере – северным, а на юге – южным магнитным. Известно, что время от времени геомагнитное поле меняет свою ориентацию и магнитные полюса меняются местами. Это явление получило название:

«инверсия геомагнитного поля». Принято считать, что в мантии Земли происходит глобальная конвекция, которая приводит в движение материки и плиты. Считается, что плиты «рождаются» в океане, - в области срединно-океанических хребтов (СОХ), - в зонах т.н. спрединга. Затем, плиты движутся по поверхности Земли и как бы «ныряют» в мантию в зонах, получивших название: зоны «субдукции». Наука, постулирующая этот механизм, называется «тектоника литосферных плит». Известно, что на Земле существует тепловой поток, величина которого регистрируется по вертикальному градиенту температуры, причем изменения его по поверхности Земли не очень значительны. Принято считать, что причина, вызывающая тепловой поток на Земле, это распад радиоактивных элементов, сосредоточенных в гранитах земной коры. Надо сказать, что тепловой поток обнаружен и на Луне, и на других планетах, причем, на Луне его величина примерно в 30 раз меньше земного. Земля вращается, причем на ранних этапах эволюции она вращалась быстрее.

Рис. 1-1. Устройство Земли (распределение скоростей сейсмических волн) по данным сейсмологии.

Рис. 1-2. Магнитное поле Земли

На Земле происходят землетрясения и извержения вулканов. Причем и те, и другие, в большей части (80%), - располагаются в т.н. «огненном кольце» вдоль побережья Тихого океана. Принято считать, что Земля образовалась 4.5 млрд. лет тому назад, время

формирования Земли из протопланетного облака составляло 100 млн. лет, а механизм образования – состоял в слипании мельчайших пылинок, т.н. «планетозималей». Надо сказать, что при этом Земля не нагревалась, так как выделяющееся при слипании пылинок тепло успевало отводиться в космос за счет излучения. И, наконец, на Земле «властвует» принцип актуализма: «всегда было как сейчас».

Если внимательнее познакомиться с основами науки, называемой «физика Земли», то можно убедиться в том, что в этой науке практически нет теоретически предсказанных и экспериментально подтвержденных законов, как это обычно имеет место в других разделах физики. Конечно, известны наблюдаемые зависимости, такие как, например, закон планетарных расстояний Тициуса-Боде, законы Гуттенберга-Рихтера и Омори в сейсмологии и др., но в чем состоит и на чем базируется физика выявленных закономерностей, - остается неизвестным. Обратимся к основному постулату плитной тектоники. Суть его заключается в том, что, сколько вещества Земли было образовано в зонах спрединга, то ровно столько должно быть поглощено в зонах субдукции. Причиной действия этого постулата может быть только одна, - это постоянство радиуса Земли. Именно это и следует из принципа актуализма, однако на вопрос «почему радиус должен быть постоянным», - ответа нет.

«Твёрдая» Земля. О строении, составе и свойствах «твёрдой» Земли имеются преимущественно предположительные сведения, поскольку непосредственному наблюдению доступна лишь самая верхняя часть земной коры. Все данные о более глубоких недрах планеты получены за счёт разнообразных косвенных (главным образом геофизических) методов исследования. Наиболее достоверны из них - сейсмические методы, основанные на изучении путей и скорости распространения в Земле упругих колебаний (сейсмических волн). С их помощью удалось установить разделение «твёрдой» Земли на отдельные сферы и составить представление о внутреннем строении Земли.

Основные данные о геосферах «твёрдой» Земли.

Геосферы	Подразделения геосфер	Буквенное обозначение	Глубина нижней границы, км.	Объём, 10^{18} м^3	Масса, 10^{21} кг
Земная кора	осадочный слой	A	до 20	1,0	2,5
	«гранитный» слой		до 40	3,6	10
	«базальтовый» слой		до 70	5,6	16
Мантия	Верхняя мантия субстрат	B	50-100	180,1	610
	слой Гуттенберга (астеносфера)		около 400		
	слой Голицына	C	около 900	205,7	856
	Нижняя мантия	D	2900	510,8	2547
Ядро	Внешнее ядро	E	около 4800	166,6	1828
		F	около 5100		
	Внутреннее ядро	G	6371	8,6	106

Строение «твёрдой» Земли. Верхняя сфера «твёрдой» Земли - земная кора (А) - самая неоднородная и сложно построенная. Из нескольких типов земной коры преобладающее распространение имеют материковая и океаническая; в строении первой различают три слоя: верхний -- осадочный (от 0 до 20 км), средний, называемый условно «гранитным» (от 10 до 40 км), и нижний, т. н. «базальтовый» (от 10 до 70 км), отделяющийся от «гранитного» поверхностью Конрада.

Под океанами осадочный слой на обширных площадях имеет толщину в несколько сотен метров. «Гранитный» слой, как правило, отсутствует, вместо него наблюдается т. н. «второй» слой неясной природы, толщиной около 1-2,5 км. Мощность «базальтового» слоя под океанами - около 5 км. Кроме основных типов коры, встречается несколько типов «промежуточного» строения, в том числе кора субконтинентальная (под некоторыми архипелагами) и субокеаническая (в глубоководных впадинах окраинных и внутриконтинентальных морей). Субконтинентальная кора характеризуется нечётким разделением «гранитного» и «базальтового» слоев, которые объединяются под названием гранитно-базальтового. Кора субокеаническая близка к океанической, отличаясь от неё большей мощностью в целом и осадочного слоя в частности. С помощью сейсмических методов четко устанавливается поверхность раздела, отделяющая земную кору от нижележащей мантии. Мантия состоит из трёх слоев (B, C и D) и простирается от поверхности Мохоровичича до глубины 2900 км, где она граничит с ядром Земли. Слои B и C образуют верхнюю мантию (толщиной 850--900 км), слой D - нижнюю мантию (около 2000 км). Верхнюю часть слоя B, залегающую непосредственно под корой, называется субстратом; кора вместе с субстратом составляет литосферу. Нижнюю часть верхней мантии называют именем открывшего её свойства сейсмолога Б. Гуттенберга. Скорость распространения сейсмических волн в пределах слоя Гуттенберга несколько меньше, чем в выше- и нижележащих слоях, что связывают с повышенной текучестью его вещества. Отсюда - второе название слоя Гуттенберга - астеносфера (слабая сфера). Этот слой является сейсмическим волноводом, поскольку сейсмический «луч» (путь волны) долгое время идёт вдоль него. Лежащий ниже слой C (слой Голицына) выделен как зона быстрого нарастания с глубиной скоростей сейсмических волн (продольных от 8 до 11,3 км/сек, поперечных от 4,9 до 6,3 км/сек). Земное ядро имеет средний радиус около 3,5 тыс. км и делится на внешнее ядро (слой E) и субъядро (слой G) с радиусом около 1,3 тыс. км. Их разделяет переходная зона (слой F) толщиной около 300 км, которую относят обычно к внешнему ядру. На границе ядра наблюдается скачкообразное падение скорости продольных волн (от 13,6 до 8,1 км/сек). Внутри ядра она возрастает, увеличиваясь скачком до 11,2 км/сек., вблизи границы субъядра. В субъядре сейсмические волны распространяются почти с неизменной скоростью.

Физические характеристики и химический состав «твёрдой» Земли. С глубиной в Земле изменяются значения плотности, давления, силы тяжести, упругих свойств вещества, вязкости и температуры. Средняя плотность земной коры в целом - 2,8 т/м^3. Средняя плотность осадочного слоя коры 2,4 - 2,5 т/м^3, «гранитного» - 2,7 т/м^3, «базальтового» - 2,9 т/м^3. На границе земной коры и мантии (поверхность Мохоровичича) плотность увеличивается скачком от значений 2,9-3,0 т/м^3 до 3,1-3,5 т/м^3. Далее она плавно растет, достигая у подошвы слоя Гуттенберга 3,6 т/м^3 у подошвы слоя Голицына 4,5 т/м^3 и у границы ядра 5,6 т/м^3. В ядре плотность скачком поднимается до 10,0 т/м^3, а далее плавно возрастает до 12,5 т/м^3 в центре Земли.

Ускорение силы тяжести в Земле не изменяется скачком. До глубины 2500 км оно отклоняется от значения 10 м/сек^2 менее чем на 2%, на границе ядра равно 10,7 м/сек^2 и далее плавно убывает до нуля в центре Земли. По данным о плотности и ускорении силы тяжести вычисляется давление, которое непрерывно растёт с глубиной. У подошвы материковой коры оно близко к 1 Гн/м^2 (10^9Н/м^2), у подошвы слоя B - 14 Гн/м^2, слоя C - 35 Гн/м^2, на границе ядра - 136 Гн/м^2, в центре Земли - 361 Гн/м^2. Зная плотность и скорости

сейсмических волн, вычисляют величины, характеризующие упругие свойства материала Земли. Их ход в зависимости от глубины показан на втором графике.

Рис.1-3. Давление (1) и сила тяжести (2) в Земле.

В земной коре и верхней мантии температура повышается с глубиной. Из мантии к поверхности «твёрдой» Земли идёт тепловой поток, в несколько тыс. раз меньший поступающего от Солнца (в среднем около 0,06 Вт/м^2 или около $2{,}5\cdot10^{13}$ Вт на всю поверхность Земли). В мантии температура везде ниже температуры полного расплавления слагающего её материала. Под материковой корой она предполагается близкой к 600 -700 °С. В слое Гуттенберга температура, по-видимому, близка к точке плавления (1500 - 1800 °С). Оценка температур для более глубоких слоев мантии и ядра Земли носит весьма предположительный характер. По-видимому, в ядре она не превышает 4000--5000 °С.

Вязкость материала мантии выше и ниже границ астеносферы, видимо, не менее 10^{23}Пз; вязкость астеносферы сильно понижена (10^{19} - 10^{21} Пз). Считается, что благодаря этому в астеносфере происходит медленное перетекание масс в горизонтальном направлении под влиянием неравномерной нагрузки со стороны земной коры (восстановление изостатического равновесия). Вязкость внешнего ядра на много порядков - меньше вязкости мантии.

В верхней мантии до глубины 700 км отмечаются очаги землетрясений, что указывает на значительную прочность слагающего её материала; отсутствие более глубоких сейсмических очагов объясняется либо малой прочностью вещества, либо отсутствием достаточно сильных механических напряжений.

Электропроводность в верхней части слоя В очень низка (порядка 10^{-2} Ом$^{-1}$(м$^{-1}$); в слое Гуттенберга она повышена, что связывают с ростом температуры. В слое Голицына она постепенно увеличивается приблизительно до 10 - 100 Ом$^{-1}$*м$^{-1}$, а в нижней мантии, по-видимому, возрастает ещё на порядок. В ядре Земли электропроводность очень высока, что указывает на металлические свойства его вещества.

Из современных космогонических гипотез вытекает, что химический состав планет, их спутников и метеоритов должен быть близок к составу Солнца. Сопоставляя известные химические анализы земных и лунных пород, метеоритов, спектральные анализы Солнца и учитывая данные о плотности и др. физических свойствах материала в недрах Земли, можно в общих чертах охарактеризовать состав Земли в целом и состав её различных геосфер.

В Таблице приводится общий химический состав Земли согласно подсчётам американского геохимика Б. Мейсона. При этом предполагается, что ядро состоит из железо-никелевого сплава, подобного металлической фазе хондритов. Относительно состава земного ядра существуют две гипотезы. Согласно первой - ядро состоит из железа

с примесью (18-20 %) кремния (или иного, сравнительно лёгкого материала); согласно второй - внешнее ядро слагается силикатом, который под влиянием огромного давления и высокой температуры перешёл в металлическое состояние; субъядро может быть железным или силикатным.

Химический состав Земли

Химический элемент	Содержание в весовых процентах	Химический элемент	Содержание в весовых процентах
Железо	34,63	Натрий	0,57
Кислород	29,53	Хром	0,26
Кремний	15,20	Марганец	0,22
Магний	12,70	Кобальт	0,13
Никель	2,39	Фосфор	0,10
Сера	1,93	Калий	0,07
Кальций	1,13	Титан	0,05
Алюминий	1,09		

В составе Земли преобладают (как по массе, так и по числу атомов) железо, кислород, кремний и магний. В сумме они составляют более 90% массы Земли. Земная кора почти наполовину состоит из кислорода и более чем на четверть из кремния. Значительная доля принадлежит также алюминию, магнию, кальцию, натрию и калию. Кислород, кремний, алюминий дают наиболее распространённые в коре соединения - кремнезём (SiO_2) и глинозём ($A1_2O_3$).

Мантия состоит преимущественно из тяжёлых минералов, богатых магнием и железом. Они образуют соединения с SiO_2 (силикаты). В субстрате, по-видимому, больше всего форстерита ($MgSiO_4$), глубже постепенно возрастает доля фаялита (Fe_2SiO_4). Предполагается, что в нижней мантии под влиянием очень высокого давления эти минералы разложились на окислы (SiO_2, MgO, FeO).

Агрегатное состояние вещества земных недр обусловлено наличием высоких температур и давлений. Материал мантии был бы расплавлен, если бы не высокое давление, вследствие которого вся мантия находится в твёрдом кристаллическом состоянии, за исключением, вероятно, астеносферы, где влияние близкой к точке плавления температуры сказывается сильнее, чем действие давления. Полагают, что здесь вещество мантии находится либо в аморфном, либо частично в расплавленном состоянии. В слое Голицына, по мере роста давления с глубиной, по-видимому, происходит перестройка кристаллических решёток минералов в сторону более плотной упаковки атомов, чем объясняется быстрый рост с глубиной плотности и скоростей сейсмических волн.

Внешнее ядро, очевидно, находится в жидком (расплавленном) состоянии, поскольку поперечные сейсмические волны, не способные распространяться в жидкости, через него не проходят. С существованием жидкого внешнего ядра связывают происхождение магнитного поля Земли. Внутреннее ядро (субъядро), по-видимому, твёрдое (продольные волны, подходя к границе субъядра, возбуждают в нём поперечные волны).

Атмосфера.

Атмосфера — газовая оболочка Земли, имеющая практически неизменную массу, которая составляет около $5{,}157\text{-}10^{15}$ т (для сравнения масса Земли составляет $5{,}98\text{-}10^{21}$ т).

До высоты примерно 60—80 км атмосфера находится, в хорошо перемешанном состоянии с практически постоянным составом; здесь выполняются законы локального термодинамического равновесия. Выше эти законы нарушаются. По этой причине обычно употребляемое универсальное понятие температуры на этих высотах теряет смысл. Для высот более 80—100 км обычно говорят о кинетической температуре.

Слои атмосферы. В атмосфере различают ряд слоев: *тропосферу* и *стратосферу*, разделенную переходным слоем, называемым *тропопаузой*, *мезосферу*, отделяемую от стратосферы *стратопаузой*, *ионосферу* и *термосферу*, отделяемую от мезосферы *мезопаузой*. Внешняя часть термосферы называется *магнитосферой*. В ней частицы газов (ионы) удерживаются не столько земным притяжением, сколько магнитным полем Земли. Кроме того, атмосферу делят на нижнюю атмосферу (тропосфера и тропопауза), среднюю атмосферу (стратосфера, мезосфера и мезопауза) и верхнюю атмосферу.

Тропосфера простирается от поверхности Земли до высоты примерно 16,3 км в тропиках (30° с. ш. и 30° ю. ш.) и до высоты 8,5—10 км вне этой зоны. В среднем повсюду в тропосфере температура убывает с высотой с вертикальным градиентом 6,5 °С на 1 км. В тропосфере происходят основные процессы преобразования энергии Солнца в кинетическую энергию атмосферных движений, в скрытое тепло водяного пара. Здесь протекают основные фазовые переходы влаги, формируются облака и осадки. В тропосфере возникают крупномасштабные вихри - циклоны и антициклоны, - происходит непрерывный круговорот воды – испарение - конденсация пара - формирование осадков - формирование поверхностного стока рек и подземного стока.

Рис. 1-4. Распределение температуры в атмосфере Земли.

Нижний пограничный слой атмосферы толщиной 1,0—1,5 км (в тропической зоне несколько больше) называют планетарным пограничным слоем (ППС), для которого определяющим фактором является турбулентное трение. В ППС происходит обмен импульсом, теплом и влагой между подстилающей поверхностью (поверхностью суши и поверхностью океана) и атмосферой. Наиболее активно эти процессы протекают в нижней части ППС, толщиной около 30—50 м. Этот слой называют приземным (приводным) слоем. Переходный слой - тропопауза отделяет тропосферу от стратосферы, в которой

температура изменяется до высоты примерно 34—35 км. Здесь наблюдается большая устойчивость, которая допускает только очень слабые вертикальные движения и перемешивание, что важно, в частности, для распределения в стратосфере малых газовых примесей. Стратосфера обычно очень суха: на высоте 20 км над тропиками концентрация водяного пара составляет всего 2 $млн^{-1}$ (по объему), а над полярными широтами - около 5 $млн^{-1}$. Выше 35 км температура заметно повышается до высоты 50 км, где она - порядка 270 К.

Над стратопаузой расположена мезосфера, в которой температура понижается с высотой и достигает 160 К в ее верхней части. Это способствует конденсации водяного пара и образованию на высоте около 80 км так называемых мезосферных (серебристых) облаков. В мезосфере уже может быть повышенная ионизация - возникать так называемый *D-слой ионосферы*, довольно изменчивый со временем дня и сезоном, и зависящий сильно от активности Солнца (на высотах 70—90 км).

Мезопауза, расположенная на высоте примерно 85 км, отделяет мезосферу от простирающейся выше термосферы, в которой температура начинает резко возрастать с высотой до 2000 К в периоды большой солнечной активности и до1060 К при малой активности (ночью соответственно до 1300 и 730 К).

Термическую проводимость атмосферы характеризует коэффициент термической проводимости. Наибольшей термической проводимостью обладает тропосфера и ее нижние слои, наименьшей (в пределах деятельного слоя атмосферы) - тропопауза и нижняя стратосфера. Поскольку скорость звука определяется температурой, ее распределение с высотой также различно.

В термосфере, на высоте более 100 км, существенно меняется состав воздуха: распадаются все молекулы H_2O и CO_2 и значительная доля молекулы O_2 диссоциирует на атомы О. В этом слое усиливается ионизация частиц газов и возникает так называемый *слой ионосферы E*, а на еще больших высотах *слой F*. Движение частиц тут зависит и от приливных сил, создаваемых притяжением Солнца и Луны, в особенности в низких широтах.

Высота, км	Давление, гПа	Температура, К	Плотность кг/м^3	Молек. масса
0	$1.01\cdot10^{3}$	288	$1.23\cdot10^{0}$	28.96
5	$5.4\cdot10^{2}$	256	$7.36\cdot10^{-1}$	28.96
10	$2.65\cdot10^{2}$	223	$4.14\cdot10^{-1}$	28.96
20	$5.53\cdot10^{1}$	217	$8.89\cdot10^{-2}$	28.96
40	$2.87\cdot10^{0}$	250	$4.00\cdot10^{-2}$	28.96
60	$2.2\cdot10^{-1}$	247	$3.10\cdot10^{-4}$	28.96
80	$1.05\cdot10^{-2}$	199	$1.85\cdot10^{-5}$	28.96
100	$3.2\cdot10^{-4}$	195	$5.60\cdot10^{-7}$	28.40
150	$4.54\cdot10^{-6}$	634	$1.08\cdot10^{-9}$	24.10
200	$8.47\cdot10^{-7}$	855	$2.59\cdot10^{-10}$	21.30
300	$8.77\cdot10^{-8}$	976	$1.92\cdot10^{-11}$	17.73
400	$1.45\cdot10^{-8}$	996	$2.80\cdot10^{-12}$	15.98
500	$3.02\cdot10^{-9}$	999	$5.22\cdot10^{-13}$	14.33
600	$8.21\cdot10^{-10}$	1000	$1.14\cdot10^{-13}$	11.51

Для высот более 100 км дается кинетическая температура.

В термосфере метеоры в ней создают усиленную ионизацию и в то же время, распадаясь, образуют метеорную пыль, потоки солнечных протонов и электронов

вызывают полярные сияния и возмущения магнитного поля Земли, а также «внезапные ионосферные возмущения», нарушающие на Земле дальнюю радиосвязь.
Средние значения основных метеорологических величин на различных высотах приведены в таблице.

Мировой океан - глобальное связанное тело морской воды, окружающее континенты и острова. Почти три четверти (71 %) поверхности Земли покрыто мировым океаном.
Континенты и большие архипелаги разделяют мировой океан на пять больших частей (океаны):
- Атлантический океан
- Индийский океан
- Северный Ледовитый океан
- Тихий океан
- Южный океан

В России обычно не принято выделять Южный Ледовитый океан, однако в 2000 году Международный гидрографический союз принял разделение на пять перечисленных выше океанов: Атлантический, Индийский, Тихий, Южный и Северный Ледовитые. Аргументы в пользу такого решения состоят в том, что в южной части Атлантического, Индийского и Тихого океанов границы между ними весьма условны. В то же время воды, прилегающие к Антарктиде, имеют свою специфику, а также объединены Антарктическим циркумполярным течением.

История изучения.

Первыми исследователями океана были мореплаватели. Во время эпохи географических открытий были изучены очертания континентов, океанов и островов. Были созданы первые карты мира. В XVII и XVIII веках очертания береговой линии были детализированы, и карта мира приобрела современный вид. Однако глубины океана были изучены очень слабо.

Во второй половине XX века началось интенсивное изучение глубин океана. Методом эхолокации были составлены детальные карты глубин океана, были открыты основные формы рельефа океанического дна. Эти данные, объединённые с результатами геофизических и геологических исследований, привели в конце 60-х годов к созданию теории тектоники плит. Текто́ника плит - современная геологическая теория о движении литосферы. Для изучения строения океанической коры была организована международная программа по бурению океанического дна. Одним из основных результатов программы стало подтверждение теории.

География океанов.

Глубочайшей точкой океана является Марианская впадина, находящаяся в Тихом океане вблизи Северных Марианских островов. Её максимальная глубина — 11022 м. Она была исследована в 1951 году британской подводной лодкой «Челленджер II», в честь которой самая глубокая часть впадины получила название «Глубина Челленджера».

Отклонения геоида (EGM96) ***от идеализированной фигуры Земли*** (эллипсоида WGS84). Поверхность Мирового океана - не всюду гладкая, например, на севере Индийского океана - понижена на ~100 метров, а на западе Тихого - поднята на ~ 80 метров.

Воды Мирового океана составляют основную часть гидросферы Земли - океаносферу. На воды океана приходится более 96 % (1338 млн. куб. км.) воды Земли. Объем пресных вод, поступающих в океан с речным стоком и осадками, не превышает 0,5 миллионов кубических километров, что соответствует слою воды на поверхности океана толщиной около 1,25 м. Это обуславливает постоянство солевого состава вод океана и

незначительные изменения их плотности. Единство океана как водной массы обеспечивается ее непрерывным движением, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. В океане, как и в атмосфере, нет резких природных границ, все они более или менее постепенны. Здесь осуществляется глобальный механизм трансформации энергии и обмена веществ, который поддерживается неравномерным нагревом солнечной радиации поверхностных вод и атмосферы.

Рельеф дна.

Большая часть дна океанов представляет собой ровные поверхности (рис. 1-5), так называемые абиссальные равнины. Их средняя глубина - 5 км. В центральных частях всех океанов расположены линейные поднятия на 1 - 2 км - срединно-океанические хребты, которые связаны в единую сеть. Хребты разделены трансформными разломами на сегменты, проявляющиеся в рельефе низкими возвышенностями, перпендикулярными хребтам.

Рис. 1-5. Рельеф дна океанов и суши.

На абиссальных равнинах расположено множество одиночных гор, часть из которых выступает над поверхностью воды в виде островов. Большинство этих гор - потухшие или действующие вулканы. Под тяжестью горы океаническая кора прогибается и гора медленно погружается в воду. На ней образуется коралловый риф, который надстраивает вершину, в результате формируется кольцевидный коралловый остров - атолл.

Если окраина континента пассивная, то между ним и океаном расположен шельф — подводная часть континента, и континентальный склон, плавно переходящий в абиссальную равнину. Перед зонами субдукции, там, где океаническая кора погружается под континенты, расположены глубоководные желоба - самые глубокие части океанов.

Морские течения - постоянные или периодические потоки в толще мирового океана и морей. Различают постоянные, периодические и неправильные течения; поверхностные и подводные, теплые и холодные течения. В зависимости от причины течения выделяются ветровые и плотностные течения.

Ветровые течения определяются направлением преобладающих ветров. Это всегда поверхностные течения, они образуются под совокупным влиянием сил трения, турбулентной вязкости, градиента давления, отклоняющей силы вращения Земли и др. К

числу сильнейших ветровых течений относятся Северное и Южное Пассатные течения, течение Западных Ветров и др. Теория ветровых течений была разработана шведом В. Экманом, русскими учёными В. Б. Штокманом и Н. С. Линейкиным, американцем Г. Стоммелом.

Морские течения — перемещения больших масс океанской воды - вызывают серьёзные изменения в климате многих стран.

Морские течения.

Климат.

Океан играет огромную роль в формировании климата Земли. Под действием солнечной радиации вода испаряется и переносится на континенты, где выпадает в виде различных атмосферных осадков. Океанические течения переносят нагретые или охлаждённые воды в другие широты и в значительной мере ответственны за распределение тепла по планете.

Вода обладает огромной теплоёмкостью, поэтому температура океана меняется гораздо медленнее, чем температура воздуха или суши. Близкие к океану районы имеют меньшие суточные и сезонные колебания температуры.

Происхождение Мирового океана является предметом идущих уже сотни лет споров. Считается, что в архее океан был горячим. Благодаря высокому парциальному давлению углекислого газа в атмосфере, достигавшему 5 бар, его воды были насыщены угольной кислотой H_2CO_3 и характеризовались кислой реакцией (pH ≈ 3-5). В этой воде было растворено большое количество различных металлов, в особенности железа в форме хлорида $FeCl_2$.

Деятельность фотосинтезирующих бактерий привела к появлению в атмосфере кислорода. Он поглощался океаном и расходовался на окисление растворенного в воде железа

Происхождение современных океанов связано с образованием срединно-океанических хребтов, разрастанием океанического дна и «маркировкой» этого процесса полосовыми магнитными аномалиями (рис.1-6). Возраст океанической коры определяется по возрасту полосовой магнитной аномалии. Под СОХ образуется астеносфера, глубина которой h связана с возрастом океанической коры зависимостью: $h \sim \sqrt{t}$.

Рис. 1-6. Срединно-океанический хребет (СОХ) и полосовые магнитные аномалии. Ось АА - СОХ.

1. 2. Общепринятая модель эволюции Земли.
http://www.liveinternet.ru/users/3030706/post95179018/

Согласно современным научным предположениям около пяти миллиардов лет назад в газопылевом облаке, пронизанном магнитными силовыми линиями, образовалось сгущение - протосолнце, которое медленно сжималось. Другая часть облака с массой примерно в десять раз меньшей медленно вращалась вокруг него. В результате столкновений атомов, молекул и частиц пыли туманность постепенно сплющивалась и разогревалась. Так вокруг протосолнца образовался протяженный вращающийся диск, пронизанный магнитными силовыми линиями. В значительной его части происходило интенсивное конвективно-турбулентное перемешивание вещества. Это благоприятствовало быстрому перераспределению энергии, освобождающейся при гравитационном сжатии облака. В результате этого газопылевой диск существенно охлаждался.

Под действием светового давления легкие химические элементы водород и гелий "выметались" из близких окрестностей Солнца. И, наоборот, попадая на пылинки, световые лучи тормозили их движение вокруг Солнца. При этом пылевые частицы теряли свой орбитальный момент количества движения и приближались к Солнцу. Такой механизм торможения срабатывает даже в случае, если размеры частицы достигают нескольких метров. В конечном итоге это и привело к существенному различию в химическом составе планет, их разделению на две группы.

После достижения "критической" плотности пылевой диск распался на отдельные сгущения.

Далее в результате взаимных столкновений происходило слипание отдельных пылинок и образование твердых тел, для которых американский геолог Т. Чемберлин еще в 1901 году ввел название "планетезимали". По оценкам некоторых учёных превращение системы сгущений пыли в рой твердых тел продолжалось всего 100 000 лет на расстоянии Земли от Солнца и около 1 000 000 лет на расстоянии Юпитера. При этом масса планетезималей в области планет земной группы была значительно меньше, чем в области планет-гигантов. Все это время протосолнце проявляло очень высокую активность. При мощных вспышках оно выбрасывало потоки заряженных частиц, которые, при движении вдоль магнитных силовых линий, переносили момент количества движения от Солнца к протопланетному облаку. Кроме того, благодаря столкновениям высокоэнергичных легких частиц (протонов и нейтронов) с веществом протопланетного облака, происходили определенные ядерные реакции. Именно таким путем и образовался большой избыток

легких химических элементов - лития, бериллия и бора, которых в земной коре и метеоритах значительно больше, чем в атмосфере Солнца.

В результате взаимных столкновений планетезималий происходил рост одних и дробление других. Со временем орбиты крупнейших из них приближались к круговым, а сами они превращались в зародыши планет, объединяя все окружающее вещество. Расчеты показывают, что рост Земли до современных размеров продолжался всего 100 миллионов лет.

Выпадение отдельных сгущений на Землю и ее сжатие привели к постепенному разогреву ее недр. На момент сформирования Земли температура в ее центре не превышала 800 К, на поверхности 300 К, а на глубине 300-500 км около 1500 К. Со временем все большую роль здесь играли процессы радиоактивного распада, при которых выделялось значительное количество энергии. В результате этого отдельные области земных недр разогрелись до температуры плавления превышающей 4000 ^{o}C.

В дальнейшем после остывания примерно до 3000 ^{o}C тяжелые элементы сконденсировались, перейдя в жидкое состояние; при этом образовалось земное ядро из железа с примесью никеля. Более легкие металлы "всплыли наверх", т. е. в наружные слои, и образовали более холодную и большую по размерам "мантию". Этот начальный этап формирования земной коры продолжался около 1 миллиарда лет.

Затем, когда температуры упали приблизительно до 1000 ^{o}C, стала формироваться тонкая твердая, но подвижная земная кора. Благодаря слагающим ее древнейшим "горным породам" на Земле сохранилась "летопись" последующих событий, происходивших в течение ее долгой эволюции. В период между 3,7 и 2,2 миллиарда лет назад земная кора охладилась до температуры кипения воды. Теперь уже водяной пар мог конденсироваться из первоначальной атмосферы, которая содержала также аммиак, метан и двуокись углерода. В то время как на экваторе вода кипела, на полюсах мог идти дождь. "Вторичная" атмосфера, богатая кислородом, смогла установиться только по прошествии еще 0,5 - 2 миллиарда лет

Поскольку тогда еще не существовало защитного озонного слоя, интенсивное ультрафиолетовое излучение Солнца стимулировало протекание химических реакций. Происходили сильные извержения вулканов. Формировались океаны и континенты. В течение последнего миллиарда лет континенты стали "дрейфовать", а магнитные полюса - "блуждать". Было время, когда в Гренландии росли магнолии, кораллы встречались в арктических морях, а ледники покрывали пространства Бразилии и Конго.

В последние 500 миллионов лет Северный магнитный полюс, никогда не удалявшийся от географического полюса (оси вращения Земли), двигаясь по какой-то неправильной траектории, сместился из своего прежнего положения в Тихом океане приблизительно в его современное местоположение, мало изменившееся за последние 60 миллионов лет (?).

Временами происходили также непонятные изменения магнитной полярности (северная - на южную) (?). Возможно, они были как-то связаны с изменениями в характере течения вещества в жидком железном ядре Земли.

Приблизительно 500 миллионов лет назад три континента, называемые сейчас Северной Америкой, Европой и Азией, располагались вдоль экватора, тогда как четвертый гигантский континент находился в Южном полушарии и позднее превратился в Южную Америку, Африку, Австралию, Индию и Антарктиду. Первую группу материковых масс геологи назвали Лавразией, а вторую - Гондваной. Еще через 400 миллионов лет эти две группы слились в единый "суперконтинент", называемый теперь Пангеей. В то время столкновение Африки и Северной Америки привело к вздыманию Аппалачских гор, имевших 14-километровую высоту (?); теперь это старые и разрушенные горы. То была "эра земноводных", предшествовавшая появлению рептилий

и динозавров. Еще через 200 миллионов лет суперконтинент начал раскалываться, разделяясь на северную и южную части.

В течение последних 130 миллионов лет Африка три раза сталкивалась с Европой и "отскакивала" от нее, что привело к образованию Альпийских гор, вулканов и возникновению сильных землетрясений. Южная Америка начала отделяться от Африки, вероятно, 100 миллионов лет назад и соединилась с Северной Америкой лишь приблизительно 4 миллиона лет назад (?). Атлантический океан теперь расширяется, а Тихий сужается.

На ранней стадии своего развития протоземля была окружена облаком небольших спутников, радиусы которых достигали 100 км. Со временем из них на расстоянии около 10 земных радиусов (60 000 км) сформировалась Луна (?). Одновременно началось ее медленное удаление от Земли, которое продолжается и теперь. Оно сопровождается уменьшением скорости вращения Земли вокруг своей оси.

Вообще же современные научные представления о внутреннем строении Земли опираются на четыре считающиеся бесспорными тезиса: внутреннее ядро радиусом около 1300 км, в котором вещество, по всем данным, находится в твердом состоянии; внешнее ядро, радиус которого равен примерно 3400 км; здесь в слое толщиной около 2100 км, окружающем внутреннее ядро, вещество находится в жидком состоянии; оболочка или мантия толщиной около 2900 км и кора, толщина которой равна 4-8 км под океанами и 30-80 км под материками. Кора и мантия разделены поверхностью Мохоровичича, на которой плотность вещества земных недр резко возрастает от 3,3 до 5,2 г/см^3.

О прочем же можно говорить с той или иной степенью вероятности. Взять, к примеру, температуру в глубинных недрах Земли. Давно подмечено, что по мере спуска в шахты через каждые 33 метра температура повышается на 1°. Зная радиус Земли, нетрудно подсчитать, что в таком случае температура в самом ее центре должна достигать 60 000 К. У ученых эта цифра вызывает большие сомнения (хотя получена она вполне научными методами), и они снижают ее в 10-20 раз.

Такие же расхождения существуют в представлениях о плотности и давлении в центре Земли, и о распределении химических элементов и т.п. Да и господствующая концепция первоначального огненно-жидкого ядра Земли, хотя и подтверждается наглядно вулканической деятельностью, не дает вразумительного ответа на вопросы, как это огненное ядро в свое время возникло, и почему Земля быстро не остыла в соответствии с законами термодинамики.

Приведенная здесь схема развития Земли (аналогично формировались и другие планеты) - лишь одна из возможных гипотез, детально разъясняющих, как именно планеты и Солнце образовались из одного газопылевого облака и что сами планеты сформировались из роя холодных и твердых тел.

Касаясь возникновения жизни на Земле в 1978г М. Харт, анализируя влияние астрономических факторов на возникновение жизни на Земле, ввел понятие *зоны обитаемости* в зависимости от удаления от центральной звезды. По его оценкам приближение Земли на 5% к Солнцу создаст условия, аналогичные венерианским, а удаление от Солнца на 5% приведет к глобальному оледенению планеты. Через 15 лет Ж. Ласкар (Бюро долгот, Франция) показал, что к этим условиям необходимо добавить требование стабилизации инсоляции - потока солнечного тепла на единицу поверхности. Количество тепла, передаваемого высоким широтам, является важнейшим климатическим фактором, который управляет ростом полярных шапок и наступлением ледниковых периодов.

Тем не менее, природа нашей собственной Солнечной системы по-прежнему остается для нас загадкой. Традиционное объяснение происхождения планет, согласно

которому планеты образовались в процессе конденсации облаков космической пыли и газа, имеет под собой довольно шаткий фундамент, так как уравнения, описывающие взаимодействие газа в этих облаках, до сих пор не решены. В этой связи В. Мак-Рей, профессор университета в Суссексе, бывший президент Королевского Астрономического общества, пишет: "Проблема происхождения Солнечной системы продолжает оставаться, пожалуй, самой значительной из всех нерешенных проблем астрономии".

Кроме того, систематизировав факты, были обнаружены некоторые закономерности: почему природные процессы на Земле происходят циклически и каков механизм этой цикличности? Главная идея, отстаиваемая возникшей в 60-е годы 20-го столетия - астрогеологии, заключается в том, что вся структура рельефа земной поверхности и геологического строения земной коры сформирована и обусловлена неравномерностями многообразных движений планеты, происходящих в поле силы тяжести. Главные из этих движений - вращение вокруг оси. Кроме этого - движение по орбите вокруг Солнца, а также периодичность приливных волн, охватывающих не только гидросферу, но и твердую Землю. Все они - создают в теле планеты сложное неравномерное поле напряжений, которое и вызывает, по мнению сторонников этой концепции, все многообразие тектонических движений и деформаций, т.е. эволюция Земли подчиняется воздействию внешних по отношению к Земле сил, - и эти силы воздействуют на неё как на космическое тело, движущееся по определенным законам. В конце XIX в. французский ученый, иностранный член Петербургской АН М.А. Бертран эмпирически впервые выделил ряд геологических циклов: каледонский, герцинский и альпийский. Они охватывают три основные эпохи горообразования за последние 550 млн. лет, приведшие к созданию на Земле трех самостоятельных систем складчатых структур. Продолжительность каждого цикла Бертрана - около 170 млн. лет. Впоследствии немецкий геолог Х. Штилле выделил внутри каждого из этих циклов фазы тектономагматической активности.

Не остаются постоянными также напряженность и полярность геомагнитного поля: существуют интервалы длительного сохранения его знака (суперхроны – около 30-40 млн. лет), быстро изменяющиеся полярности - инверсии (примерно 1-2 млн. лет), а также ещё более короткие - экскурсы. Несмотря на то, что во времени магнитное поле Земли меняется неравномерно, периоды его крупных изменений совпадают с циклами экстатических (вызванных процессами в самом морском бассейне) колебаний уровня океана, а также глобальных вариаций тектономагматической активности земных недр.

Вместе с тем в истории планеты специалисты установили смену холодных климатических периодов более теплыми и отметили корреляцию климатических циклов с геологическими – вулканизмом, горообразованиями др.

Периодичность природных процессов – объективный факт. Что же управляет периодичностью и является первопричиной? Существует несколько концепций, среди которых:

1) Модель «тепловой машины». Из неё следует, что тепло, выделяемое при распаде радиоактивных элементов внутри Земли, разогревая недра, создает там тепловую и гравитационную конвекцию перераспределения масс. Последняя проявляется в геологических процессах на поверхности, а они, в свою очередь, влияют на климат и условия обитания органического мира, но совершенно не описывает орбитальное движение планеты, тектонику литосферных плит. Открытым остается вопрос и о механизме генерации геомагнитного поля, и причинах цикличности различных его

параметров. А происходит это потому, что совершенно игнорируются влияния на них системы Земля-Луна.

2) Модель приливной эволюции Земля-Луна-Солнце соответствует общим закономерностям движений тел Солнечной системы, а также объясняет цикличность поверхностных и глубинных земных процессов. Следовательно, размер орбиты Земля-Луна изменяется циклически, значит, в определенные интервалы времени спутник находился от нашей планеты дальше или ближе. Если ближе – угол наклона экватора к эклиптике меньше современного – наступает похолодание; если дальше – угол наклона больше – потепление.

Периоды, разделяющие последовательные оледенения, составляют 200-250 млн. лет. Приняв эту величину за продолжительность цикла и зная скорость вращения Земли и орбитальную скорость Луны, а также величину изменения кинетической энергии вращения, можно оценить диапазоны следующих изменений: расстояние Земля-Луна; угол наклона экватора к эклиптике, продолжительность суток. Внутренняя структура земных недр также связана с циклическими изменениями скорости вращения Земли и угла наклона к экватору.

Численное моделирование поведения системы Земля–Луна на интервале 20 млн. лет в прошлое и 10 млн. лет в будущее, - показало, что наклон оси вращения Земли колеблется около среднего значения 23.3° с амплитудой 1.3° . Это может вызвать на широте 65° колебания инсоляции - на 20%. Такие изменения потока солнечного тепла, в принципе, могут вызывать существенные климатические изменения, например, оледенения.

Перераспределение воздушных и водных масс, рост или уменьшение ледникового покрова в высоких широтах ведут к изменению динамического сжатия Земли. А это ведет к изменению скорости прецессии оси вращения Земли. Напомним, что прецессия вызывается притяжением экваториального избытка массы Земли Луной и Солнцем и возмущениями гелиоцентрического движения Земли со стороны планет. В современную эпоху скорость прецессии составляет 50.4712" в год.

Рис. 1-7. Модель эволюции Земли.

3) Модель "галактических нырков". В журнале Nature в 2005 году, говорилось, что число разновидностей земных организмов заметно снижается каждые 62 миллиона лет, и эта закономерность прослеживается на протяжении, по крайней мере, последних 542 миллионов лет. Было замечено, что эта временная шкала практически совпадает с 64

миллионами лет, которые Солнечной системе требуются на преодоление вертикального отрезка - то есть диска Галактики - туда и обратно. Выясняется, что большинство глобальных биологических катастроф приходится на те периоды, когда Солнечная система находилась в крайней северной точке цикла, а эта точка расположена приблизительно на 230 световых лет выше галактической плоскости. По-видимому, в подобных обстоятельствах в атмосферу Земли проникает больше галактических космических лучей, которые и приводят к массовым вымираниям живых организмов. "Когда Солнце проходит сквозь галактическую плоскость, поток космических лучей растет, а когда оно оказывается ниже этой плоскости, он уменьшается", - поясняет Михаил Медведев из Канзасского университета в Лоренсе (США). Периоды высоких "приливов" внегалактических космических лучей и наблюдаемые провалы в биологической вариативности настолько хорошо накладываются друг на друга, что шанс на простое совпадение оказывается исчезающе мал - один на 10 миллионов.

1. 3. О некоторых ошибках и заблуждениях общепринятой модели холодной Земли.

Современная модель описана во всех книгах и статьях, имеющих отношение к физике Земли. Практически все авторы повторяют одно и тоже, встретить работу, в которой бы критиковались основные положения модели, (в противоположность предыдущему параграфу) – это редчайший случай. Естественно, в настоящее время каждому явлению или процессу, происходящим в недрах Земли, найдено объяснение. Казалось бы, ясно и нет проблем. Оказывается, что не так всё гладко…

Если рассмотреть проблему устройства Земли, других планет и спутников Солнечной системы, и сопоставить модель с огромным накопленным наблюдательным материалом, то вся кажущаяся стройность такой науки, как «физика Земли», рассыпается как пресловутый «карточный домик».

Геодинамика. Рассмотрим некоторые, наиболее яркие «несогласия» между т.н. «теорией Земли» и реально наблюдаемыми фактами…

Рис.1-8. Разрыв Гондваны и этапы раздвижения материков: цифры в млн. лет.

Начнем с наиболее неправдоподобного примера, касающегося основного постулата тектоники плит. Как известно, Вегенер в 1915 обнаружил, что береговые линии некоторых материков удивительно совпадают друг с другом, что если материки приблизить один к другому, то они сомкнутся. Вегенер высказал идею, что все современные материки раньше представляли собой некий единый материк. Этот материк (Гондвана, Пангея) потом раскололся и его «остатки» - современные материки отодвинулись друг от друга, за счет работы спрединга и глобальной конвекции в мантии. Этот рисунок, (рис. 1-8) - фигурирует во всех книгах и даже в школьных учебниках. Легко показать, что это ошибка и заблуждение. Впервые это продемонстрировал Мезервей (Meservey, 1969) на страницах

журнала Science. С тех пор прошло 40 лет, но я не встретил ни одного опровержения идеи Мезервея. Геологи на этот факт - не обратили внимание.

На рис. 1-9-a изображена ситуация, аналогичная приведенной на рис.1-8 (220). Рисунок 1-9-b показывает невозможность такой ситуации на Земле современного радиуса. Именно в этом состоит парадокс Мезервея. Рассмотрим суть парадокса чуть подробнее.

На рис. 1-8 показана схема разделения материков (рис. 1-7). Эта схема никогда не подвергается сомнению, более того, она помещена в школьные учебники. Кажется совершенно невозможным, чтобы то, что изображено на рис. 1-8, оказалось ошибкой. И, тем не менее, это действительно так.

Суть идеи Мезервея состоит в том, что “соединение” материков в Гондвану, в которой Африка, Южная и Северная Америки, Австралия и Антарктида образуют единый праматерик, невозможно на земном шаре, имеющем радиус, равный современному. Мезервей обратил внимание на то, что материки, расположенные по берегам Тихого океана, не могли 200 млн. лет тому назад (по данным магнитной стратиграфии) находиться друг от друга на расстояниях, больших, чем в настоящее время (рис. 1-9). Для того чтобы образовать Гондвану (рис. 1-9-a), этим материкам пришлось бы двигаться вдоль по направлениям, показанным на рисунке 1-9-b, увеличив примерно вдвое площадь поверхности Тихого океана, что противоречит палеореконструкциям. Как показано многими авторами, материки можно «уложить» один к другому практически без зазоров на шаре радиусом, точно равным радиусу внешнего ядра Земли (рис. 1-9-c). Для убедительного доказательства этого факта, доктор Фогель (Vogel, 1994) изготовил прозрачный глобус, внутри которого на шаре, эквивалентном шару внешнего ядра, располагались те же самые материки, что и на самом глобусе. Глобус Фогеля демонстрирует, как изменялось положение материков, от начального, в момент образования Земли – до современного. Такую картину можно наблюдать на сайте: http://www.youtube.com/watch?v=7kL7qDeI05U

Наши рассуждения по поводу геодинамики и дрейфа материков приводят к однозначному выводу. Регистрируемый дрейф материков возможен только на расширяющейся Земле. Эта проблема будет рассмотрена подробнее в главе 17.

Рис. 1-9. Вверху слева – соединение материков в Гондвану; справа – интерпретация этого факта Мезервеем. Внизу: расположение материков на внешнем ядре Земли.

Океаны. Ещё один важный вывод, следующий из рис. 1-9, состоит в том, что расширение Земли непосредственно связано с образованием и увеличением объёма современных океанов. Данные по времени и скорости образования океанов основываются на использовании методов магнитной стратиграфии. Суть метода состоит в том, что современная океаническая кора формировалась за счет деятельности вулканических магматических процессов в так называемых срединно-океанических хребтах (СОХ). Раскаленная магма, - изливаясь из СОХ и остывая, «запоминала» полярность существовавшего в это время геомагнитного поля, формируя, таким образом, - полосовые магнитные аномалии (как правило, направленные параллельно СОХ) на океаническом дне. Каждая магнитная аномалия образовалась в «свое» время и имеет свой порядковый номер в общей номенклатуре аномалий. Зная номер полосовой магнитной аномалии можно определить возраст океанического дна в данной точке. Этот метод используется для изучения механизмов образования океанов.

В течение «последних» примерно 200 млн. лет эволюции Земли на ней произошли гигантские по масштабу изменения, равных которым не было за весь предыдущий период её развития. Произошло образование современных океанов и разделение материков. Надо заметить, что это не означает, что до этого периода на Земле не было океанов. Конечно, нет, более того, в эволюции Земли были периоды, когда практически вся её поверхность была под водой. Однако в последнем случае резкое увеличение впадины океана не сопровождалось сколько-нибудь существенным снижением его уровня. Рудич (1984) приходит к выводу, что увеличение впадины океана компенсировалось поступлением в гидросферу Земли воды из глубоких уровней планеты. Он обращает внимание на то, что *с позиций мобилистских концепций, невозможно объяснить крупное приращение объема Мирового океана,* т.к. мобилистские гипотезы исключают возможность заметного изменения объема Мирового океана в течение последних 160 млн. лет.

Рис. 1-10. Скорость расширения океанов (на примере Тихого океана) – а. Время разделения Пангеи на материки – б. На вставке – зависимость глубины астеносферы от времени образования океанического дна в районе СОХ.

Рисунок 1-10 показывает, как происходило расширение океанов. Здесь приведены данные только по Тихому океану. Аналогичный вид имеют данные по скорости расширения Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов. Различие только в цифрах. Сплошная линия (на рис. 1-10) линия служит некоторым усреднением скорости. Она практически совпадает с кривой зависимости глубины астеносферы h от возраста океанического дна t: $h \sim t^{1/2}$ (на вставке, рис. 1-6). Кстати, последняя зависимость не получила объяснения в рамках современного мобилизма. На этом же рисунке показаны даты (в млн. лет), когда началось разделение материков. Данные по расширению дна океанов и разделению материков получены с помощью методов, развитых в магнитной стратиграфии, заметим, – весьма объективных.

Может ли ядро Земли быть железным? Принято считать, что ядро Земли железное, внутреннее – в кристаллическом состоянии, внешнее – жидкое. В некоторых работах авторы считают, что железо должно быть с примесью никеля, в других – частично в окисленном состоянии (ядро заржавело!), но это не принципиально. Плотность железа и скорость продольных сейсмических волн при температуре и давлении, характерным для внутреннего ядра Земли действительно примерно соответствуют этим параметрам (рис. 1-11). Однако, как было экспериментально определено совсем недавно, скорость сдвиговых (S) волн в железе возрастает при повышении давления и температуры аналогично тому, как это происходит с продольными (P) волнами. Короче, коэффициент Пуассона (σ) железа остается неизменным и равным σ = 0.28 в широком диапазоне температур и давлений, вплоть до параметров, характерных для G-ядра. (Коэффициент Пуассона определяется отношением объемных модулей сжатия, иначе, отношением скоростей сейсмических волн). Недавно была измерена скорость сдвиговых волн, проходящих через внутреннее ядро Земли. Полученные данные позволили более точно оценить коэффициент Пуассона внутреннего ядра (σ = 0.44), который оказался значительно выше, чем у железа. Можно было бы перечислить и ряд других соображений о невозможности существования железного ядра в общепринятой его модели.

Рис. 1-11. Распределение скоростей сейсмических волн по радиусу Земли (вверху). Штриховые линии – распределение скоростей упругих волн в железе от внешнего давления на монокристалл железа. Глубина соответствует литостатическому давлению.

Внизу – коэффициент Пуассона: 1 – в Земле, 2 – в железе (по экспериментальным данным Мао и др.), 3 – в железе (по данным ударных экспериментов Брауна и Мак-Куина).

Может сложиться впечатление, что такой принципиально важный вывод о том, что ядро не может быть железным, базируется не на очень убедительном аргументе. В подтверждение этого вывода, приведем дополнительные аргументы, для чего рассмотрим известные данные о вязкости вещества ядра, а также некоторые временные параметры геомагнитного поля, такие как инверсии, экскурсы, джерки и, связанная с этими явлениями, - величина электропроводности внешнего ядра (глава 13).

Прежде чем коснуться проблемы генерации геомагнитного поля, заметим, как указывается во многих учебниках по геомагнетизму, что А.Эйнштейн считал эту проблему наиболее важной среди пяти других наиважнейших проблем физики. По всей видимости, есть основание считать, что эта проблема ещё не решена. К такому выводу можно прийти, если учесть, что современные представления о природе геомагнетизма, базирующиеся на идее магнитного динамо, не способны найти объяснение перечисленным выше данным. Согласно модели динамо, вязкость расплавленного железа должна быть примерно такой, как у воды, а электропроводность, такой как у железа. Вязкость вещества жидкого железа, оцененная по астрономическим данным, - на порядки выше, чем принимаемые значения в модели динамо. И ещё, если бы электропроводность вещества внешнего ядра была такой как у железа, то временные вариации магнитогидродинамических процессов в ядре не должны быть меньше чем 10^5 лет. С учетом величины электропроводности и местоположения источника генерации, различные авторы называют минимальное время переполюсовки (инверсии) поля порядка 5000 лет. Реально, наблюдаемое время вековых вариаций геомагнитного поля значительно (на два порядка) меньше, что противоречит общепринятой схеме генерации. Дело в том, что при принятой в модели генерации геомагнитного поля электропроводность жидкого железа внешнего ядра ограничивает длительность быстрых процессов, происходящих в ядре величиной в 100 тыс. лет. Более того, сам факт смены полярности поля не следует из модели динамо. Здесь можно добавить, что магнитное поле существует у многих планет, не имеющих железного ядра (Юпитер, Сатурн и др.), или существовало ранее, например, у Луны и Марса.

В настоящее время безусловное предпочтение отдается гипотезе железного ядра. Согласно этой гипотезе, внешнее ядро состоит из расплавленного железа, а внутреннее – из твердого. Отметим, что Б. Гуттенберг еще 40 лет назад написал слова, которые не потеряли своей актуальности и в наше время: “Будущие наблюдения и теоретические исследования вещества, составляющего ядро, при давлениях 1.5-3.5 млн. атм. И температурах в несколько тысяч градусов Цельсия, могут привести к изменению прежних взглядов” (Гуттенберг, 1963, стр. 142).

Какие же возражения можно привести против идеи железного ядра? Перечислим некоторые из них:

- Плотность внутреннего (G, по Буллену) ядра ниже, чем плотность железа при условиях, существующих в области внутреннего ядра.
- Скорость S-волн в G-ядре очень мала и, если бы там было железо, то она должна бы быть около 6 км/с.
- Скорость P-волн практически не возрастает к центру Земли (см. рис. 1-2), оставаясь постоянной вдоль радиуса ($v_p^2 = dp/d\rho$, что не характерно для конденсированного вещества, а соответствует состоянию сжимаемого газа, т.к. скорость звука в газе практически не зависит от p и ρ, которые однозначно связаны друг с другом.
- Практическое совпадение измеренной величины скорости S-волн с вычисленной по модели Земли и уравнению Адамса и Вильямсона означает, что внешнее (E) ядро и

внутреннее (G), состоят из одного вещества. Однако вязкость вещества внешнего ядра, оцененная по астрономическим данным, значительно (на несколько порядков) больше, чем измеренная в лабораторных условиях вязкость расплавленного железа.
- Принятая, в соответствии с моделью динамо, электропроводность вещества ядра Земли находится в противоречии с наблюдаемыми временами вариаций геомагнитного поля.
- Внутреннее ядро не может быть кристаллической фазой вещества внешнего ядра, т.к. такой экзотермический процесс кристаллизации без отвода тепла из центра Земли термодинамически не возможен.

Земля открытая диссипативная, самоорганизующаяся структура, включающая два фазовых перехода: конденсацию и кристаллизацию. В системе, на фазовых переходах происходит постоянный рост энтропии. Энтропия центральной части Земли, где, согласно нашей модели, находится вещество в газообразном, плазменном состоянии, должна быть самой большой, и она должна скачком уменьшаться в области фазовых переходов, по мере увеличения радиуса Земли при перемещении от центра к периферии. Этому очевидному правилу из необратимой термодинамики противоречит модель кристаллизации внутреннего ядра внутри расплавленного железного внешнего ядра.

Чтобы железо было твердым, необходимо, чтобы температура внутреннего ядра была бы ниже, чем температура внешнего, что представляется абсурдным даже разработчикам модели холодной Земли. Поэтому в принятой холодной модели используется адиабата Пуассона. Это неверно, т.к. адиабата Пуассона характеризует только идеальный газ, участвующий в бездиссипативных процессах, что не может быть применено для Земли. В оценках температурного хода в недрах Земли необходимо пользоваться адиабатой Гюгонио, и т.п.

1. 4. Как изменялись представления о Земле по мере развития науки.

Ранние гипотезы. Проблему внутреннего устройства Земли по праву можно считать одной из древнейших и наиболее актуальных для человечества. Естественно, еще самые древние мыслители задумывались над тем, как устроена Земля и изобретали на эту тему подчас совершенно невероятные, на наш взгляд, модели. Согласно **Гомеру** [900 лет до н.э.], Земля представляла собой выпуклое блюдо, окруженное Океаном. Впервые о том, что Земля шар, стали говорить в древней Греции примерно 600 лет до н.э. Аристотель [350 лет до н.э.] знал точные размеры Земли. Оценкой размеров Земли занимались арабы, а так же в Египте и Китае. Со времен Аристарха [300 лет до н.э.] ведется дискуссия о суточном вращении Земли. Впервые идея о сплюснутости Земли была высказана географом Страбоном в 5 г. до н.э. Внутреннее устройство Земли всегда интересовало древних ученых. Наблюдения за вулканами и ростом температуры при спуске в шахты, привели их к выводу о том, что недра Земли горячие.

Модель горячей Земли была высказана впервые **Рене Декартом** в книге "Начала философии". Согласно Декарту, Земля состоит из шести оболочек. Внутри находится огненное ядро, имеющее ту же природу, что и Солнце. Ядро окружено плотным веществом, не встречающимся на Земле, затем следует земная кора, в которой образуются металлы. Поверхностная каменная оболочка частично скрыта водой. Шестая оболочка, это воздух. Землетрясения и вулканизм, по Декарту, обязаны как действию “центрального огня”, так и обрушениям каменной оболочки. Представления Декарта о Земле, состоящей из оболочек и центрального ядра, не утратили актуальности до наших дней.

Исследования Г.Лейбница, изложенные им в сочинении “Протогеа” [1639], принято считать развитием идей Декарта. Земля, по Лейбницу, образовалась из огненного расплава, а затем на её поверхности выделились шлаки. Рельеф Земли, у Лейбница, формировался за счет влияния центрального ядра и обрушений поверхности. Г. Лейбница, как и Р. Декарта, принято считать “плутонистами”.

О внутреннем, огненном ядре писал англичанин Т. Бернет. Земля, по его модели [1689], была горячей и состояла из четырех оболочек. Нетрудно и здесь видеть влияние Декарта. Огненное ядро у Земли предполагали: англичанин В.Уайстон [1789], француз В. Мелле [1748], датчанин Н. Стенон [1669] и другие. Всех их можно считать последователями Декарта - плутонистами. Идею горячей расплавленной Земли поддерживали англичанин Р. Гук [1705], у которого причиной землетрясений и горообразования был подземный огонь. По представлениям итальянца А. Моро [1751], центральная часть Земли огненно-жидкая и она окружена каменной оболочкой. Моро считают плутонистом и прямым предшественником Л. Буха и А. Гумбольта.

В 1672 г. Рише обнаружил, что часы, верно отсчитывающие секунды в Париже (49° Е), отстают приблизительно на 2.5 мин в сутки, в Кайенне (5° Е), где он был вынужден укоротить маятник. Примерно в это же время, один из членов Парижской академии предположил, что на экваторе тело весит меньше, чем на полюсах.

И. Ньютон, услышав об открытии Рише, высоко оценил его и в 1682 г. предпринял попытку установить состояние недр на основании расчетов степени сжатия Земли. Он пришел к выводу о первоначально расплавленной Земле, на том основании, что она представляет собой фигуру вращения, несколько сплюснутую у полюсов. Работа Ньютона обогатила науку новыми данными, как по величине сжатия Земли, так и по теории тяготения. В 1690 г. Гюйгенс, оценивая величину сжатия Земли, получил уравнение её поверхности. На основе выведенных французским математиком А. Клеро уравнений, оказалось возможным определить сжатие земного сфероида. В 1735 г. Клеро, Буге и др. французские исследователи предприняли экспедиции к Северному Полярному кругу в Лапландию и к экватору в Перу, и получили доказательство того, что поверхность Земли имеет сплюснутую форму. В 1755 г. Эйлер впервые дал ясное описание гидростатического равновесия Земли. Заметный вклад в теоретическую геофизику внесли работы английских ученых Стирлинга [1735], Маклорена [1742] и Симпсона [1743]. После публикации в 1743 г. во Франции работы Клеро по теории фигуры Земли, теоретические исследования были продолжены. д’Аламбер [1717-1783], Кулон [1736-1806], Лагранж [1736-1813], Лаплас [1749-1827], Лежандр [1752-1833], Био [1777-1862], Пуассон [1781-1840] и Коши [1789-1857] продолжили теоретические исследования.

Французский естествоиспытатель Ж.Л. Бюфон, немецкий философ **И. Кант** и французский астроном, математик и физик **П.С. Лаплас** разделяли идею горячей Земли и связывали ее внутреннее строение с проблемой одновременного происхождения Земли и Солнечной системы. Планеты, в их построениях, либо отделялись от Солнца, либо образовались одновременно с ним из одного и того же вещества. Этих ученых объединяет общность подхода к проблеме и то, что все они были плутонистами.

Отметим работы по внутреннему строению Земли замечательного русского ученого М.В. Ломоносова: “О слоях земных” [1763] и “Слово о рождении металлов от трясения Земли” [1757]. Процессы горообразования и причину землетрясений он видел в том, что “..сила, поднявшая такую тягость, ничему приписана быть не может, как господствующему жару в земной утробе”.

Нептунисты и плутонисты. Конец XVIII века в истории геологии проходил под знаком борьбы двух течений - нептунизма и плутонизма. Нептунисты считали, что особенности поверхности Земли обязаны действию воды, не интересуясь при этом внутренним устройством Земли, внутренними силами и источниками энергии. Надо полагать, к таким выводам можно прийти, изучая осадочные породы и учитывая их практически повсеместное расположение на земной поверхности, а так же то, что 2/3 Земли покрыто Океаном. В противоположность нептунистам, плутонистов больше интересовало

внутреннее устройство Земли, причины образования гор, землетрясений, вулканов и т.п. Основоположником плутонизма, как учения, считают шотландца **Д. Геттона**, изложившего свои взгляды в книге “Теория Земли” [1788]. В основе его представлений, главенствующая роль отводится действию силы подземного огня. Земля, по Геттону, постепенно эволюционировала, хотя скорость её эволюции, на разных этапах, - существенно различалась.

По мнению плутонистов, наличие огненно-жидких недр Земли приводило к появлению радиальных сил, которые, в свою очередь, воздействовали на каменную оболочку, вызывая появление поднятий и гор. Гипотеза поднятия, таким образом, следовала из плутонических представлений о Земле. Эта гипотеза была развита в трудах немецких геологов Л. Буха и А. Гумбольта. Например, согласно представлениям Гумбольта, земная кора на ранней стадии эволюции Земли была тоньше, её прорывали более мощные, чем теперь, вулканические силы, заливая поверхность Земли расплавленным магматическим веществом.

Основоположник контракционной гипотезы француз Эли-де-Бомон считал, что земная кора окружает расплавленное ядро. В процессе его охлаждения, кора сморщивалась, а огненно-жидкие массы вытекали наружу. Эта гипотеза стала называться контракционной. Её развивал в своей книге “Лик Земли” австрийский геолог Э. Зюсс [1885]. Известным сторонником контракционной гипотезы был немецкий геолог К.А. Циттель [1873]. Земля, по его мнению, перешла из газообразного состояния в огненно-жидкое, а затем покрылась твердой корой. Он считал, что по мере охлаждения и утолщения земной коры, вулканические извержения становились всё реже и реже.

По мере развития науки, представления об огненно-жидком состоянии внутренности Земли усложнялись. В частности, ряд исследователей, и среди них американец Дж. Дэна [1873], считали, что охлаждение и отвердевание Земли идет как с поверхности, так и изнутри - со стороны её ядра, оставляя в средней части вязкий слой. Гипотезу контракции в конце XIX века стали дополнять (или заменять) гипотезой изостатического выравнивания, разработанной практически одновременно Д. Праттом, Д.Эри, Ч. Деттоном.

Представления о внутреннем строении Земли развивали не только геологи. Заметное участие в этой деятельности принимали астрономы и физики, причем, довольно часто их взгляды и выводы оказывались несовместимыми с геологическими исследованиями. Физики, в зависимости от изначально принятых ими моделей образования, эволюции и внутреннего устройства Земли, приходили подчас к противоречивым и взаимно исключающим выводам. Наряду с гипотезой “флюидизма”, т.е. жидкого состояния недр Земли, они принимали гипотезы о их твердом, вязком и даже газообразном состоянии. К флюидистам в свое время относили: физика и астронома Д.Ф. Араго, математика **Ж. Фурье,** астронома Л. Кордье, физика А. Перре. В частности, Перре пришел к оригинальному выводу относительно связи землетрясений с лунными приливами, которая, по его мнению, должна указывать на жидкое состояние недр Земли.

Он выдвинул три закона, названных в его честь законами Перре. Долгое время многие сейсмологи полагали, что эти законы отражают реальную ситуацию. Справедливость законов Перре была подвергнута сомнению: как было показано нашими исследованиями, четкой зависимости сейсмичности Земли от фазы Луны, - реально не наблюдается.

Земля – горячая или холодная? Надо сказать, что ученые в своих исследованиях внутреннего устройства Земли, приходили к совершенно противоположным выводам относительно того, в каком состоянии находится вещество в центре Земли. Некоторые из них полагали, что земные недра представляют собой твердое вещество. Сторонников этой гипотезы называли “регидистами”. К их числу относят, например, русского профессора А.А. Иовского [1828], немецкого ученого Ф. Мора [1868] и крупнейшего геолога, англичанина Ч.Лайеля, который в противовес теории катастроф, развил учение о медленном и непрерывном изменении земной поверхности под влиянием постоянных геологических факторов. Он отрицал представление о раскаленных недрах Земли, приписывая внутренний источник тепла протеканию химических реакций [1866]. Аналогичных взглядов придерживались французский физик **С.Д. Пуассон** [1837], английские физики В. Гопкинс [1839] и В.Томсон [1867]. По их мнению, Земля должна быть абсолютно твердой, по крайней мере, на глубину не, менее 2000 км.

Английский астроном Д. Дарвин [1880], на основе разработанной им теории приливов, оценки величины нутации и изучении статистики землетрясений, пришел к выводу о вязком, но вместе с тем и твердом, состоянии глубинных масс. Он одним из первых использовал свойства сейсмических волн для исследования внутреннего строения Земли.

Ряд ученых полагали, что ядро Земли настолько нагрето, что находится в газообразном и, вместе с тем, в твердом состоянии. По мнению немецкого геофизика Цёпритца [1882], газообразное вещество, из которого состоит земное ядро, имеет такую же плотность, как абсолютно твердое тело, обладая при этом свойствами газов. Вокруг газообразного (и твердого) ядра, по утверждению Цёпритца, располагается оболочка диссоциированных газов, затем переходная оболочка от газов к жидкости, потом расплавленная масса и твердая кора. К сходным представлениям пришли шведский физик С. Аррениус [1900], русские геологи Ф.Ю. Левинсон-Лессинг [1902] и И.Д. Лукашевич [1908].

Однако в этом споре победила идея холодной модели Земли. Во многом эта «победа» была предопределена работами нашего соотечественника академика **О.Ю.Шмидта.** В качестве основы своей модели образования холодной Земли Шмидт использовал явление захвата Солнцем роя частиц, двигавшихся в одной плоскости (плоскости экватора) и имевших различные начальные моменты количества движения. В модели Шмидт учитывал удельные моменты, т.е. моменты, деленные на массу захваченных частиц. Он, в частности, задался вопросом, “... все ли значения моментов равновероятны или, скажем, большие менее вероятны, или наоборот? Этого мы наперёд, не знаем. Если бы был задан какой-нибудь закон распределения моментов, какая-нибудь дифференциальная функция распределения, то мы могли бы применить некоторые критерии для того, чтобы сравнить эту функцию распределения с фактическими данными. Правда мы не имеем роя в прежнем виде, но мы имеем результат его склеивания (подчеркнуто мной) - планеты, а момент, как известно, при этом сохраняется ...”.

Гипотеза Шмидта, несмотря на то, что в ней неплохо совпадали рассчитанные расстояния от планет до Солнца (закон Тициуса-Боде) с наблюдаемыми расстояниями, не

объясняла целый ряд особенностей Солнечной системы. Среди них: совпадение направления вращения Солнца и планет, совпадение плоскостей орбит планет с плоскостью экватора Солнца, одинаковый характер распределения планет и спутников Юпитера, Сатурна и Урана по расстояниям, неясность механизма образования планет и спутников из роя холодных частиц (склеивания?) и т.д. По мнению астронома С.К. Всехсвятского, гипотеза Шмидта не могла предсказать ни одной ранее известной особенности Солнечной системы, что косвенно говорит о неубедительности её основных положений. Более того, эта гипотеза типично катастрофическая, а, следовательно, вероятность захвата звездой постороннего облака частиц ничтожно мала. Как известно в наше время (но не во времена Шмидта), очень многие звезды имеют планетные системы, что говорит скорее об определенном порядке при образовании подобных систем, но совсем не о катастрофизме. Исследования возможного механизма образования Солнечной системы, проведенные сравнительно недавно (позже Шмидта), теперь базируются в большей степени на гипотезе Канта-Лапласа, чем на катастрофических моделях.

Роль сейсмологии. В 1912 г. Гейгер и **Гутенберг**, анализируя годографы сейсмических волн, решили, что состав мантии плавно (не скачком) меняется с глубиной. В 1914 г. Гутенберг, изучая записи землетрясений с эпицентральными расстояниями более 80° от сейсмостанции Геттинген, обнаружил, что на глубине 2900 км скорость продольных волн уменьшается от 13.5 км/с до 8.5 км/с и что радиус ядра равен приблизительно 3500 км. В 1936 г. датчанка-сейсмолог **Ингре Леман** выдвинула предположение, что ядро состоит из двух частей: внешней и внутренней, и что скорость сейсмических волн во внутреннем ядре больше, чем во внешнем.

Гутенберг и Рихтер сделали попытку определить радиус границы между этими двумя частями ядра [1938] и нашли, что переход от внешнего ядра к внутреннему начинается на расстоянии примерно 1500 км от центра Земли и охватывает зону протяженностью около 300 км. **Джеффрис** установил [1939], что в слое между внешним и внутренним ядром скорость волн уменьшается и что в подошве этого слоя, относящегося к внешнему ядру, на границе с внутренним ядром имеет место разрыв скорости (рис. 1-2). В 1957 г. Гутенбрг, анализируя прохождение волн различной длины волны через переходную зону, показал, что ядро внутреннее и внешнее состоит из одного и того же вещества, находящегося в различных фазах. К. Буллен предложил выделить и обозначить оболочки Земли [1953], используя границы отражений сейсмических волн. Эта классификация существует и в наше время.

Вопрос о том, твердое или жидкое внутреннее G-ядро, до недавних пор оставался не ясным. Единственная до недавнего времени публикация о регистрации PKJKP-волн, проходящих через внутреннее ядро, и показывающих его жесткость (Julian et al., 1972), ни разу не была подтверждена и поэтому в течение четверти века оставалась сомнительной. Несмотря на эти неудачи, принято считать, что внутреннее ядро - твердое. Основным аргументом в пользу такого вывода является попытка объяснить увеличение скорости P-волн на границе внутреннего ядра. Как известно, внешнее ядро жидкое, скорость распространения P-волн в нем: $v_p = (K/\rho)^{1/2}$. Плотность внутреннего ядра не может быть меньше чем внешнего, модуль сжатия K тоже не может увеличиться. Так как принято считать G-ядро состоящим из кристаллического железа, а скорость P-волн: $v_p = [(K + 4/3\mu)/\rho]^{1/2}$, где μ модуль сдвига, то этот подход позволял оценить скорость S-волн во внутреннем ядре (v_s = 3.56 км/с). Знание скоростей волн

позволяет оценить величины плотности земных оболочек. Заметим, что “наши знания о составе нижних слоев мантии и внутреннего ядра основываются главным образом на данных об их плотности” (Браун и Массет, 1984, стр. 52).

Совсем недавно ситуация резко изменилась. Был найден, наконец, “святой грааль сейсмологии”: т.е. экспериментально обнаружена волна, проходящая через внутреннее ядро, как сдвиговая (PKJKP). Авторы этой работы идентифицировали PKJKP-волну, распространяющуюся через внутреннее ядро Земли с периодом колебаний 2-10 секунд, возникшую в результате глубокофокусного землетрясения Flores Sea 1996 года. Эта PKJKP-волна была зарегистрирована на 8 станциях Французской сейсмической сети. Полученный результат свидетельствует о наличии жесткости у внутреннего ядра, которая ранее была выведена только из рассмотренных нами выше косвенных свидетельств. Авторы оценили скорость распространения PKJKP-волн, которая оказалась равной v_s = 3.65 км/с. Кроме этого, они объяснили результат, полученный группой (Julian et al., 1972) по регистрации ими волны со скоростью 2.95 км/с. Оказалось, что это было поверхностное отражение pPKJKP-волны. Французы считают, что большая величина коэффициента Пуассона (0.44) может быть объяснена нормальной кристаллической структурой внутреннего ядра без того, чтобы привлекать идею частичного плавления, якобы возникающего из-за громадного давления в центре Земли.

Одним из последних достижений в области изучения внутреннего ядра явилось обнаружение на его границе цилиндрической анизотропии и супервращения. Сейсмическая волна, касающаяся внутреннего ядра в области экватора, приходит на 2-4 с раньше, чем аналогичная волна, касающаяся внутреннего ядра в области полюсов. Аналогичные результаты получены при анализе спектров собственных колебаний внутреннего ядра, после сильного землетрясения.

Железное ядро. В любом, даже самом кратком обзоре об эволюции представлений, касающихся внутреннего строения Земли, нельзя обойти вниманием спор ученых, который не окончился ещё и в наши дни, это спор о химическом составе ядра Земли, спор о том, железное оно или не железное.

Идея железного ядра имеет очень давнюю историю. С момента открытия земного магнетизма и магнетизма железа, это сопоставление представлялось очевидным. Немецкий геолог Г. Штеффенс [1801] пришел к аналогичному выводу на основе

магнитных наблюдений. Идея, связывающая магнетизм Земли и магнетизм железа, развивалась немцами К. Шмидером [1802] и К. Гоффом [1824]. С другой стороны, учеными высказывалась и вторая предпосылка: плотность внутренних слоев Земли (так же как и железа) значительно превосходит плотность земной коры, которая, в свою очередь, существенно ниже средней плотности Земли. Третья предпосылка состоит в следующем. Русский ученый Э.Ф. Хладни [1794], французские геологи А. Добре [1866] и С. Менье [1896], а так же известный русский химик **Д.И. Менделеев** [1877], на основании аналогии химического состава Земли и метеоритов, пришли к выводу о том, что ядро Земли, так же как и метеориты, состоит из никелистого железа. Впоследствии это предположение было развито в научную гипотезу, ставшую господствующей с начала XX века и до наших дней. По поводу связи химического состава ядра Земли и метеоритов, имеет смысл привести слова Б. Гутенберга: “Преобладающее мнение, что главным элементом в ядре является железо, иногда основывается на его обилии в метеоритах. Однако здесь надо опасаться порочного круга: 1) метеориты, которые первоначально были частями планеты, часто содержат железо, и поэтому можно думать, что оно является главной компонентой Земли; 2) поскольку средний состав всех известных нам метеоритов приблизительно соответствует составу

Земли (включая железное ядро), то можно считать, что они прежде являлись частями планеты”.

Критика идеи железного ядра. Однако не всегда, и не всех устраивала эта гипотеза. Её первую предпосылку опровергли после того, как было оценено распределение температуры по земному радиусу, с одной стороны, и определена температура Кюри магнитных материалов, в частности железа, с другой. В качестве альтернативы второй предпосылки, В.Н.Лодочников предлагал свою модель, согласно которой увеличение плотности пород с глубиной возможно за счет изменения их структуры (например, удельный вес минералов, состоящих из углерода: антрацита - 1.7; графита - 2.25; алмаза - 3.5). Возражением против довода о сходстве состава Земли с составом метеоритов явилась оригинальная гипотеза Лодочникова [1939] о происхождении метеоритов. По его мнению, метеориты, это продукты извержения земных вулканов (сейчас можно было бы добавить: и не только земных, а вулканов других планет и их спутников). Действительно, если метеориты не являются обломками внутренних частей какой-то планеты, то нельзя проводить аналогию между их составом и составом ядра Земли.

С похожей гипотезой относительно изменения плотности вещества с глубиной выступил финский ученый В. Рамзей [1948]. Он утверждал, что ядро состоит из вещества, слагающего мантию, но находящегося в металлических фазах, и что прежде чем атомы главных элементов (кислорода, кремния, магния и железа) совершенно разрушатся, могут существовать другие фазовые переходы. Венгр Эдьед [1957] предложил гипотезу, отличную от гипотезы Рамзея. Он так же полагал, что Земля “состоит из трех фаз одной и той же однородной ультраосновной силикатной массы. Во внутреннем ядре структура материала подобна решетке, которая не подвержена влиянию давления внутри Земли. Состояние вещества, слагающего внешнее ядро, соответствует следующей фазе сверхвысокого давления, где жесткость пренебрежимо мала по сравнению с другими упругими модулями, так что наблюдаются только продольные волны” (Гутенберг, 1963). Интересную гипотезу рассмотрели Кун и Ритман [1941], в которой они предположили, что в ядре содержатся заметные количества водорода, оставшегося от первичной материи, из которой образовалась Земля.

Магнитное поле. В 1600 году **Гилберт** английский физик, придворный врач королевы Елизаветы впервые выдвинул предположение, что Земля является большим магнитом, и, намагнитив железный шар, показал, что он действует на магнитную стрелку так же, как и Земля. Он предположил, что магнитные полюсы Земли совпадают с полюсами географическими. Гилберт установил, что многие тела, подобно янтарю, обладают свойством притягивать лёгкие предметы после натирания. Он исследовал эти свойства и назвал их электрическими (по-гречески янтарь — электрон), впервые введя этот термин в науку. Гилберт первым в Англии выступил с критикой учения Аристотеля и в защиту учения Н. Коперника.

Гаусс более 150 лет тому назад доказал, что источник генерации геомагнитного поля находится в её недрах. После того как обнаружили, что точка Кюри для железа достигается в нижних слоях земной коры, потребовалась другая гипотеза геомагнетизма. Одним из первых был Эльзассер, который сначала [1939] предложил идею генерации геомагнитного поля за счет термоэлектрических токов в ядре, а позже [1947] он высказал предположение о том, что источником магнитного поля являются медленные движения в земном ядре, которые могут возбуждать электрические токи, подобно тому, как это происходит в динамо-машине. Независимо от Эльзассера, с аналогичной гипотезой выступил известный физик теоретик из России Я.Б. Френкель [1948]. Идею магнитного динамо развивали Буллард [1948], Ранкорн [1954], Вестин [1954]

и др. Эта идея, вытеснив все альтернативные, завоевала абсолютное преимущество в физике Земли. Однако, несмотря на победное шествие в течение 50 последних лет, ясного понимания процессов генерации геомагнитного поля нет до сих пор. В последнее время все чаще и чаще у различных специалистов возникают мысли о несостоятельности этой идеи. А ведь проблема генерации геомагнитного поля поставлена под «номером один» в физике Земли и составляла, по мнению **А.Эйнштейна**, одну из трех главных задач современной физики.

Тектонические гипотезы. С начала XX века появились различные тектонические гипотезы, которые обычно сосредоточивали внимание исследователя на какой-либо одной стороне развития Земли. Однако не нужно забывать, что любая “разумная” гипотеза, охватывающая всего одну сторону многоликой Земли, основывалась на определенных представлениях о её образовании, эволюции и внутреннем строении. Поэтому и тектонические гипотезы вносили определенный вклад в науку о строении Земли.

Выше мы упоминали о контракционной гипотезе, которая в начале XX века,

которая в начале XX века стала терять свой приоритет. Это было вызвано тем обстоятельством, что представления о сжимаемости земной коры, расположенной вокруг огненно-жидкого ядра, оказались несовместимыми с железным ядром, радиоактивным разогревом и сейсмическими данными. В это время возникла идея перемещения, дрейфа материков, сначала у англичанина Ф.Тейлора [1910], а затем эта гипотеза была развита **А. Вегенером** [1915], который основывался на совпадении очертаний береговых линий Африки и Южной Америки, резком различии по высоте океанов и материков и концепции изостазии

Теорию спрединга морского дна предложил А. Холмс в 1929 г., а в 1939 г. Д. Гривс ещё ближе подошел к главной идее тектоники плит. Он утверждал, что горные сооружения и сейсмические пояса, окаймляющие Тихий океан, создаются конвективными течениями, которые поднимаются в центре бассейна и опускаются на его окраине. Триумф плитной тектоники начался после публикации в 1962 г. статьи Г. Хесса об истории океанических бассейнов, посвященной спредингу морского дна. Надо отдать должное авторам книги по тектонике плит, которые считает, что “тектоника плит не закрыла науки о Земле из-за того, что все проблемы решены. Наоборот, она дала надежную основу для исследований по многим новым направлениям” (Кокс, Харт, 1989. стр. 15).

Гипотеза расширяющейся Земли. К тектоническим гипотезам относится и гипотеза

расширения Земли. Как будет следовать из текста этой книги, модель горячей Земли в геологическом аспекте адекватна модели расширяющейся и пульсирующей Земли. Эта идея была высказана ещё в 1889 г. русским ученым И.О. Ярковским. Модель в современном виде берет начало от работ **О.С. Хильденберга** [1933]. Идея расширяющейся Земли нашла наиболее полное и законченное развитие в трудах австралийского геолога **С. Кери** (Carey, 1976). В развитие этой идеи существенный вклад внесли

геологи Б. Линденман [1929], М. Боголепов [1922], Д.К.Е. Халм [1935], Л. Эдьед [1956], Х. Оуэн [1973] и др. Однако все авторы, и в том числе С. Кери, не могли найти причин, согласно которым Земля может расширяться. Заканчивая свою замечательную книгу, Кери написал: “Я знаю, что Земля расширяется, но я не знаю почему”. Разные авторы задумывались над этой проблемой и многие из них приходили в своих предположениях к весьма

экзотическим (и неверным) идеям. Возможные аспекты физики расширения Земли рассмотрены В.Ф. Блиновым (1984). Он полагал, что все схемы расширения и возможные причины можно рассмотреть применительно к формуле гравитационного ускорения в центрально-симметричном поле тяготения:

$$g = GM/R^2.$$

Блинов полагает, что параметры в этой формуле связаны с изменением земного радиуса R.

Он выделяет три возможных причины изменения R: Первая связана с увеличением массы со временем. Это направление основано Ярковским, оно развивалось Хильденбергом, И.В.Кирилловым, В.Б.Нейманом, самим Блиновым и др. Этому направлению отдавал предпочтение и Кери. В этой модели, Земля аккумулирует энергию (возможно, энергию гравитационных волн), которая преобразуется в её недрах в массу, посредством реализации выражения из специальной теории относительности Эйнштейна: $E = mc^2$. Эта идея пришлась по душе многим геологам, в частности, на кафедре геофизики МГУ. По поводу этой идеи мне пришлось выступить с критикой. Второе направление связано с уменьшением гравитационной постоянной G со временем. В свое время с этой идеей выступил известный физик, Нобелевский лауреат **П. Дирак**. Это направление было поддержано Л. Эдьедом, Р. Дике, Д.Д. Иваненко, М.У. Сагитовым и др. Однако, астрономические наблюдения, проведенные различными обсерваториями в течение многих лет, - однозначно показали, что ни G, ни GM не изменялись в течение времени наблюдений с точностью, не хуже 10^{-11}.

Третье направление представлено теми работами, в которых увеличение радиуса происходит за счет разуплотнения вещества. Как будет ясно в дальнейшем, это направление является базовым и в нашей модели горячей Земли. Эта идея наименее экзотическая из трех, перечисленных нами. Более того, имеется масса лабораторных экспериментов, в которых при введении в вещество удельной энергии, большей, чем две теплоты испарения, оно испаряется и при наличии сжимающих сил может быть сжато до плотности, значительно превышающей плотность исходного вещества. Так, например, в экспериментах по лазерному термоядерному синтезу на осколок бутылочного стекла были направлены одновременно с 12 сторон мощные лазерные пучки. Вещество испарилось, и было сжато возникшей ударной волной до плотности ≈ 100 г/см^3. Затем, вещество стало адиабатически расширяться, охлаждаться и при этом конденсироваться и кристаллизоваться.

Рис. 1-12. Модель расширения Земли по Кэрри.

Надо заметить, что практически все разработчики модели расширяющейся Земли стремились “уложить” континенты один к другому таким образом, чтобы не оставалось “зазора” между ними. Рис. 1-9-с демонстрирует один из таких вариантов, предложенный в книге Гораи (1984). Наибольшего успеха в этом деле достиг немецкий инженер из Потсдама К. Фогель, создавший прозрачный глобус, на внешней поверхности которого были расположены материки, а внутри размещался еще один шар, меньшего диаметра, на

котором материки занимали положения, примерно так же, как это изображено на рис.1-9-с . Профессором Британского музея натуральной истории Х.Оуэном был создан атлас, в котором представлено расположение материков в различные эпохи и т.п. В каждой из моделей расширения авторы придерживались некой общей схемы, изображенной на рис. 1-12 и заимствованной мной из книги Кери. Этот рисунок отражает тот факт, что материки в процессе расширения Земли не претерпели существенных изменений, а само расширение обязано образованию океанов, заполнивших пространство между ними.

Мне кажется, что ни один из разработчиков идеи расширяющейся Земли не был полностью удовлетворен своими моделями. Дело в том, что современные наблюдения за дрейфом материков и плит, а также многочисленные тензометрические измерения в шахтах показывают, что Земля в настоящее время скорее сжимается, чем расширяется. По оценке **П.Н.Кропоткина** (1984), только 5% современной Земли подвержено растяжению в зонах спрединга, остальные 95% находятся под влиянием сжимающих усилий. Все геологи-практики неоднократно фиксировали, что на Земле в прошлом имели место, как процессы глобального растяжения земной коры, так и её сжатия. Таким образом, идея контракции-сжатия и идея расширения Земли требовали объединения.

Пульсирующая гипотеза возникла, как попытка примирить наблюдаемые на поверхности Земли следствия процессов сжатия и расширения. Она была высказана в тридцатых годах американскими геологами В.Бухером и А.В.Грабау и детально разработана русскими академиками М.А.Усовым, **В.А.Обручевым** и др. Тем не менее, идеи, основанные на модели горячей Земли, по ряду причин не получили достойного развития и, более того, были отвергнуты. Абсолютное и бесспорное преимущество получила модель холодной Земли

Литература

Блинов В.Ф. Основные направления исследований расширяющейся Земли. В кн. Проблемы расширения и пульсаций Земли. М.: Наука. 1984. 191 с.

Браун Д., Массет А. Недоступная Земля. М.: Мир. 1984. 262 с.

Гораи М. Эволюция расширяющейся Земли. М.: Недра. 1984. 110 с.

Гутенберг Б. Физика земных недр. М.: ИЛ. 1963. 263 с.

Машимов М.М. Геодинамические аспекты изучения изменений фундаментальных характеристик Земли во времени. Геодезия и картография. № 9. 1996. С.24-28.

Рудич Е.М. Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы. М.: Недра. 1984. 250 с.

Brown J.M., McQueen R.G. Phase transitions, Gruneisen parameter and elasticity for shocked iron between 77 GPa and 400 Gpa. J. Geophys. Res. 1986. V. 91. P. 7485-7494.

Carey S.W. The Expanding Earth. Elseiver. Amsterdam. 1976. 488 p.

Mao H., Shu J., Shen G., Hemley R.J., Li B., Singh A.K. Elasticity and rheology of iron above 220 GPa and the nature of the Earth's inner core. Nature 1998. V. 396. P. 741-743

Meservey R. Topological inconsistency of continental drift on the present-sized Earth. Science. 1969. V. 166. P. 609-621.

Vogel K Global models of the expanding Earth (In: Barone M, Selleri F Ed.: Frontiers of Fundamental Physics) (Plenum Press: New York, 1994).