

Лекция 1. ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

В 1-ой лекции 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.

За последнюю сотню лет в физике Земли накоплен огромный наблюдательный материал, который продолжает пополняться и в наше время, обнаруживаются новые факты, которые подчас противоречат общепризнанным догмам. В чем же дело, почему в физике Земли нет свежих идей, новых подходов и оригинальных моделей? Более того, эта наука одна из старейших на Земле, так и не имеет ни одного закона, связывающего результаты наблюдений в одну общую, построенную «на первых принципах», физически непротиворечивую концепцию? По-видимому, дело заключается в том, что учебники по физике Земли и читаемые в университетах курсы по этой специальности, предназначены для геологов и геофизиков. Авторы учебников и лекторы университетов, сами учившиеся по таким же учебникам, часто и не задумываются о том, насколько обсуждаемая тема соответствует истине, а не является этой самой догмой. Зачастую авторы учебников излагают материал, особо не выделяя накопленные экспериментальные данные по Земле и трактуя их в рамках своих собственных представлений об её устройстве.

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 (приблизленно)	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	5520 кг/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 (g %)

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 уровня геоида W_0 , дает величину несколько меньшую: 3 мкГал/год.

2. Уменьшение объема Земли $1/V \times (dV/dt) \approx -0.2 \times 10^{-10}$ год⁻¹. При этом объем ложа океана уменьшается со скоростью 0.03 км³/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 $M \geq 3$. Общая выделяющаяся энергия 10^{26} эрг в год. Землетрясения, как и вулканы, меняют «лик Земли» и её динамические характеристики: тензор инерции и геодид. **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_0 большой полуоси экваториального эллипса геоида. Вековые изменения этих параметров: $d\alpha/dt = -0.22 \times 10^{-9}$ год⁻¹, $d\alpha_e/dt = 3.6 \times 10^{-9}$ год⁻¹, $d\lambda_0/dt = -0.3'$ год⁻¹. Современные данные: $\alpha = 0.0033528132$; $\alpha_e = 0.0000108728$; $\lambda_0 = -14^\circ 54'$.

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	Φ_2 , км ² /с ²	K_S , кбар	μ , кбар	σ	Давление, кбар	dK_S/dP	η_V	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
7	70.52	3133	1730	0.266	282.9	3.33	0.97	999.8
8	68.47	2999	1548	0.279	238.3	2.98	0.98	1001.4
9	64.03	2556	1239	0.291	238.3	3.03	0.37	1001.4
10	62.61	2489	1210	0.290	210.4	2.40	0.37	1000.3
11	50.99	1899	906	0.294	133.5	2.37	1.98	996.8
12	48.97	1735	806	0.298	133.5	7.26	0.83	996.8
13	44.50	1529	741	0.291	71.1	3.37	0.78	990.4

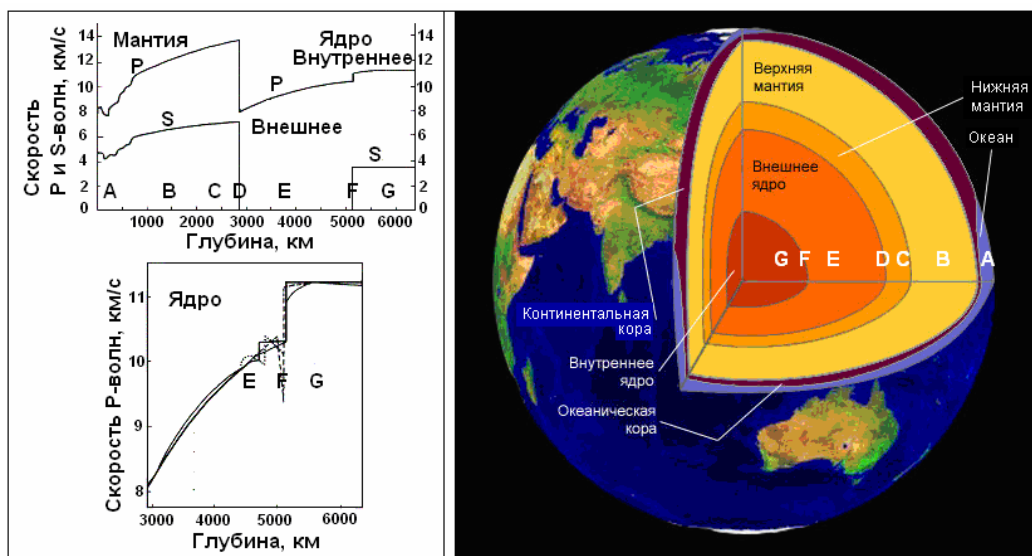


Рис. 1. Устройство Земли (распределение скоростей сейсмических волн) по данным сейсмологии.

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 то же, 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...

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 известный рисунок - 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. изображена ситуация, аналогичная приведенной на рисунке из учебника Этот рисунок (2-b) показывает невозможность такой ситуации на Земле современного радиуса. Именно в этом состоит парадокс Мезервея. Рассмотрим суть парадокса чуть подробнее.

Схема разделения материков никогда не подвергается сомнению, более того, она помещена в школьные учебники. Кажется совершенно невозможным, чтобы то, что изображено на рисунке учебника 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. Для того чтобы образовать Гондвану, этим материкам пришлось бы двигаться вдоль по направлениям, показанным на рисунке, 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. 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.

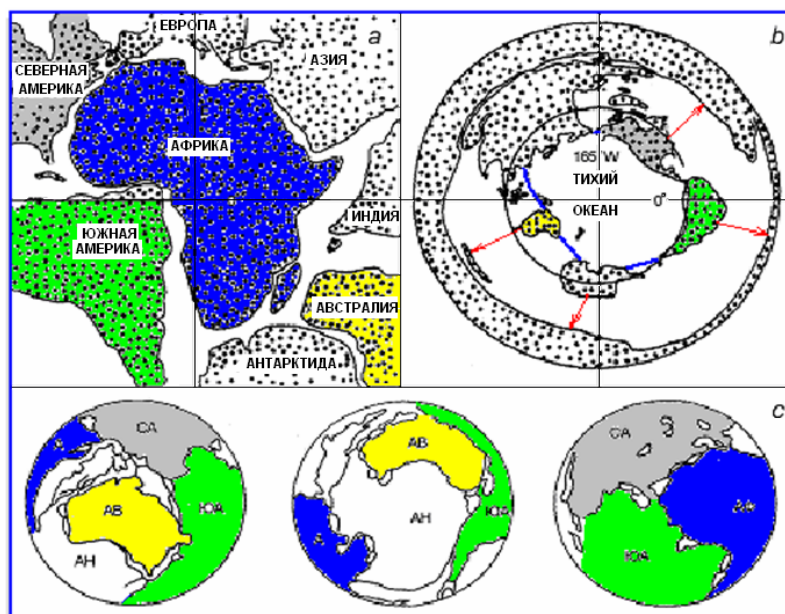


Рис. 2. Вверху слева – соединение материков в Гондвану; справа – интерпретация этого факта Мезервеем. Внизу: расположение материков на внешнем ядре Земли.

Океаны. Ещё один важный вывод, следующий из этого рисунка, 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 объёма Мирового океана, т.к. мобилистские гипотезы исключают возможность заметного изменения объёма Мирового океана в течение последних 160 млн. лет.

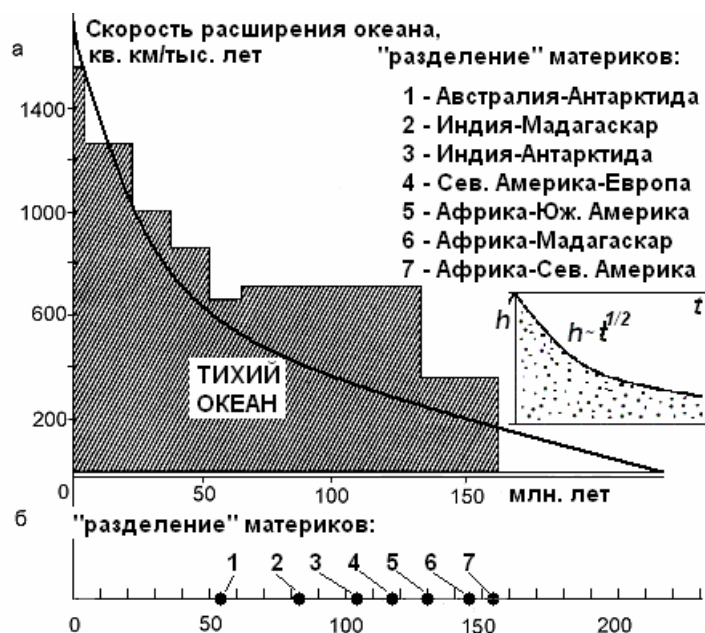


Рис. 3. Скорость расширения океанов (на примере Тихого океана) – а. Время разделения Пангеи на материки – б. На вставке – зависимость глубины астеносферы от времени образования океанического дна в районе СОХ.

Рисунок 3 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 служит некоторым усреднением скорости. Она практически совпадает с кривой зависимости глубины астеносферы h от возраста океанического дна t : $h \sim t^{1/2}$. 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, характерном для внутреннего ядра Земли действительно примерно соответствуют этим параметрам (рис. 4). 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 $\sigma = 0.28$ 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 ($\sigma = 0.44$), который оказался значительно выше, чем у железа. Можно было бы перечислить и ряд других соображений о невозможности существования железного ядра в общепринятой его модели.

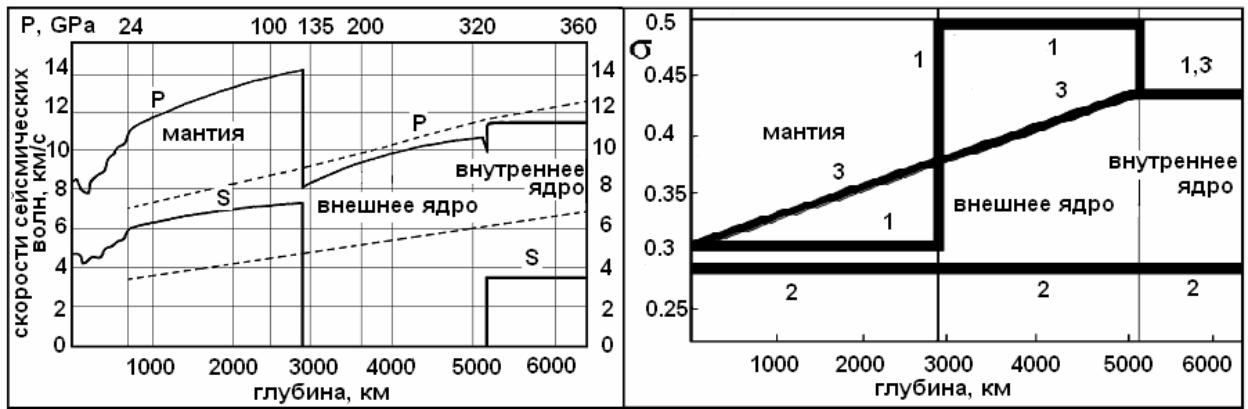


Рис. 4. Распределение скоростей сейсмических волн по радиусу Земли (слева). Штриховые линии – распределение скоростей упругих волн в железе от внешнего давления на монокристалл железа. Глубина соответствует литостатическому давлению. Справа – коэффициент Пуассона: 1 – в Земле, 2 – в железе (по экспериментальным 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.

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 Буллину) 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, 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.

Земля: холодная или горячая, – в чем отличие?

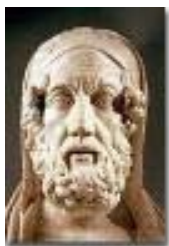
- **Гравитационная энергия Земли E , с учетом теоремы вириала и формулы для потенциала силы тяжести однородной сферы радиусом R (Магницкий, 2006) равна: $E = 3/5 \cdot GM^2/R = 2.25 \cdot 10^{39}$ эрг. Здесь G – гравитационная постоянная, M – масса Земли. Энергия E достаточна для того, чтобы все частицы Земли раздвинуть на расстояния, на которых они уже не смогут гравитационно взаимодействовать друг с другом.**
- **При теплоемкости вещества Земли $c = 0.3$ кал/г такая энергия способна нагреть Землю до температуры $T = 28\ 000$ °С.**
- **Магницкий считает: «Однако такая оценка бессмысленна, так как разогрев Земли целиком определяется принятой схемой образования планеты из**

протопланетного облака, поскольку при этом возникают огромные потери тепла через излучение» (стр. 52).

- Если вся гравитационная энергия Земли будет излучаться в космос (закон Стефана-Больцмана), то единственным источником нагрева Земли будет Солнце. Солнечная постоянная известна: 10^5 эрг/см²·с
- Нагретое до температуры T тело радиусом R излучает энергию: $4\pi R^2 \sigma T^4$, где σ – постоянная закона Стефана-Больцмана $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-5}$ эрг/см²·с·град⁴.
- Отсюда можно оценить температуру T до которой может быть нагрета Земля солнечным излучением: $T = 276$ К.
- Оценим отрезок времени (t), в течение которого гравитационная энергия Земли ($E = 2.25 \cdot 10^{39}$ эрг) – может быть рассеяна за счет излучения тепла в космос: $t = E/\varepsilon S = 2.25 \cdot 10^{39} / (12.6 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{18}) = 10$ млн. лет ($S = 5 \cdot 10^{18}$ см² – поверхность Земли). Сделаем важный вывод: Если время формирования Земли $t_0 > t$, Земля будет сформирована как – холодная, если $t_0 < t$, то Земля образуется как – горячая, с предельной температурой её вещества $T = 28$ тыс. град С.

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 Страбонам 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° E), отстают приблизительно на 2.5 мин в сутки, в Кайенне (5° E), 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. Этим 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.



Основателем 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.

Основателем 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 исключаящим 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, разработал 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 изучения 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-Бодде) 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 эпицентрными 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. Гутенберг, 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 РКЖР-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 Р-волн на границе внутреннего ядра. Как известно, внешнее ядро жидкое, скорость распространения Р-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 Р-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 (РКЖР). Авторы этой работы идентифицировали РКЖР-волну, распространяющуюся через внутреннее ядро Земли с периодом колебаний 2-10 секунд, возникшую в результате глубоководного землетрясения Flores Sea 1996 года. Эта РКЖР-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 РКЖР-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 рРКЖР-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.

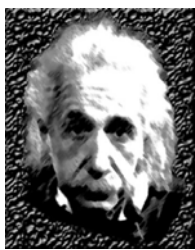
Магнитное поле. В 1600 году **Гилберт** английский физик, придворный врач королевы Елизаветы впервые выдвинул предположение, что Земля является большим магнитом, и, намагнитив железный шар, показал, что он действует на магнитную стрелку так же, как и Земля. Он предположил, что магнитные полюсы Земли 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 считают, 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. Янковским. 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 Янковским, 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 пришла 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 $\approx 100 \text{ г/см}^3$. Затем, вещество стало адиабатически расширяться, охлаждаться и при этом конденсироваться и кристаллизоваться.



Модель расширения Земли по Кэри.

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 геологические 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 академиком 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