

http://www.didcotgirls.oxon.sch.uk/depts/geog/bcs_geography/images/earth%20structure3.gif

Глубина залегания (в среднем) – 33-2900 км

Объем (в % от объема Земли) – 83

Масса (в % от массы Земли) – 68

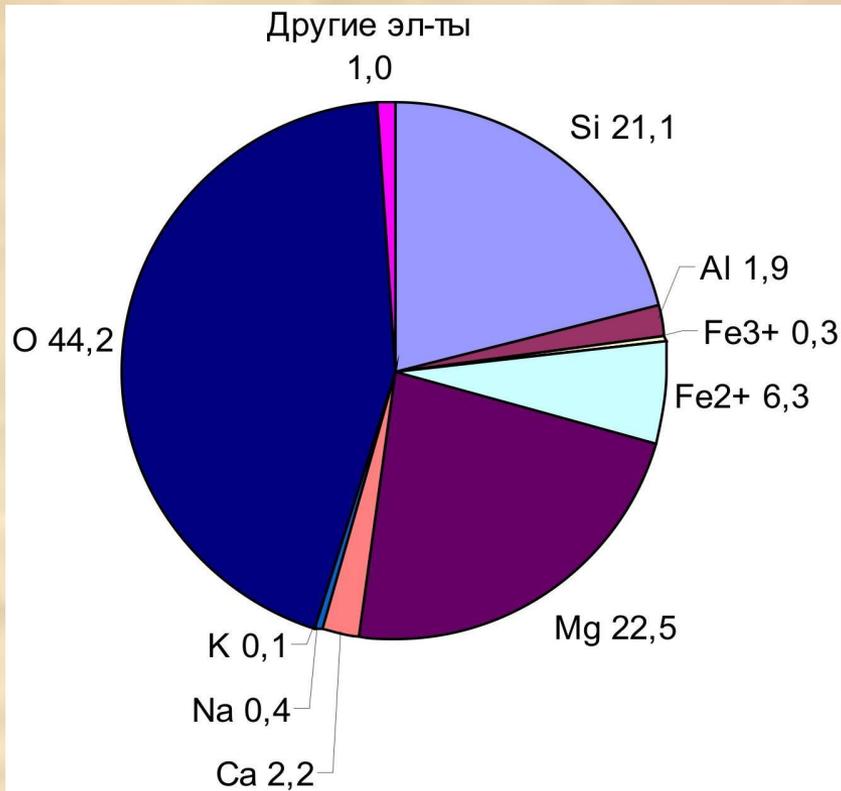
Рис. 2.25. Мантия Земли

Глубина, км	Геосферы Земли	Глубина, км		Оболочки Земли		Температура, °С	Давление, кбар	Плотность г/см ³	Масса %	Объем в %	Агрегатное состояние вещества	Состав вещества	
									от массы и объема Земли			Минеральный	Химический (%)
0-33	Земная кора	0-33		Земная кора		400-1000	1,5-10	2,8 (средняя)	0,5	0,9	твердое	Вещество широко распространенных осадочных, магматических, метаморфических пород	O-47; Si-26; Al-8; Fe-6; Ca-6; Mg-3; Na-2; K-1; остальные - <1.
33-2900	Мантия	33-670	33-410	Верхняя мантия	Верхняя мантия	1450-1600	125-150	3,3 ↓ 5,7	67,6	82,8	участками частично расплавлен.	Соответствует веществу магматитов ультраосновного состава, уплотнение в-ва связано с его фазовыми и полиморфными переходами, при этом хим. состав неизменный или возможно некоторое увеличение содержания Fe с глубиной. В верхней мантии – минералы группы силикатов. в нижней – силикаты и окислы.	O-44; Si-21; Mg-23; Fe-7; Ca-2; Al-2; Na-0,3; K-0,1; остальные - <0,6
			410-670		Переходная зона, слой Голицына						твердое		
		670-2900	670-2600	Нижняя мантия	Слой D'	твердое							
			2600-2900		Слой D''	участками частично расплавлен.							
2900-6371	Ядро	2900-5150	2900-4980	Внешнее ядро	Внешнее ядро	2500-4000	1340-1400	9,5 ↓ 14,4	31,9	16,3	жидкое	Железо (преобладающий компонент) и никель (второстепен. компонент) с примесью какого-то лёгкого компонента, в качестве которого рассматривают кислород, серу, водород, кремний	Железо – 90 %, никель – 10 %
			4980-5150		Промежуточная оболочка						жидкое + твердое		
		5150-6371		Внутреннее ядро		3500-5000	3600-5100				3150-3300		

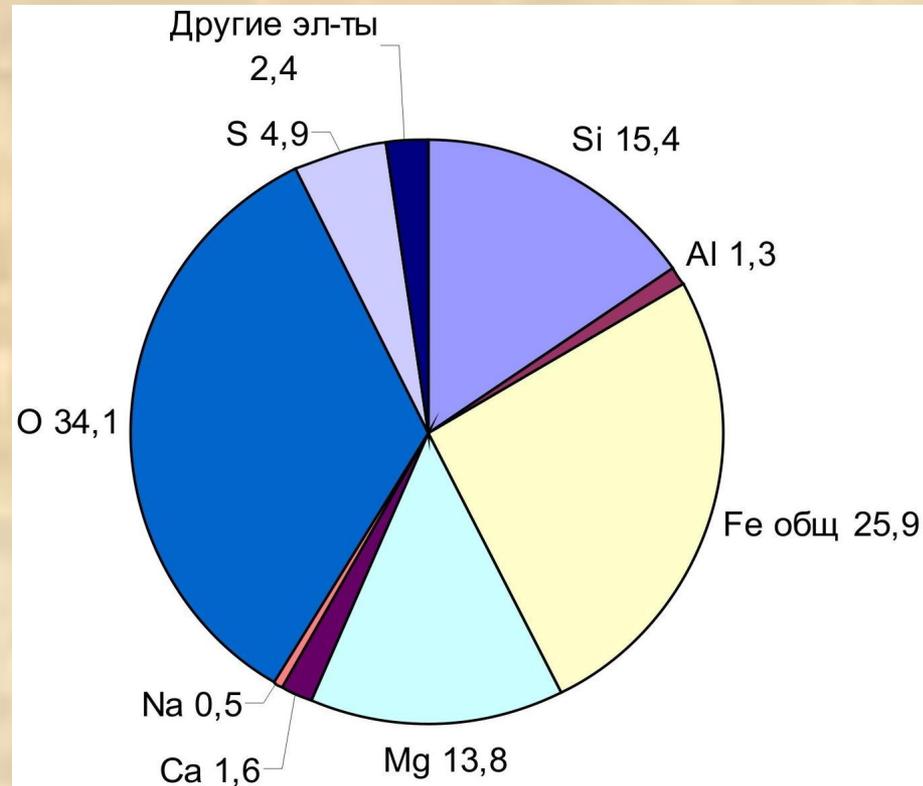
Примечание. Максимальная величина глубины – 6371 км – представляет радиус Земли при её форме в виде шара; в графах “Температура” и “Давление” приведены, по данным разных источников, предельные значения соответствующих параметров, которые характеризуют термобарические условия на границах оболочек (самые нижние значения соответствуют центру планеты, давление в 1 бар равно 0,987 Атм или 10⁵ Па); химический состав вещества земной коры – по А. Б. Ронову и А. А. Ярошевскому [25]; хим. состав современной мантии соответствует её пиrolитовой модели [23].

Оболочки Земли очень часто обозначают буквенными индексами, соответствующими начальной части латинского алфавита (впервые это предложил австралийский сейсмолог Буллен): земная кора – А, верхняя часть верхней мантии – В, слой Голицына (иногда его именуют средней мантией) – С, нижняя мантия – D, внешнее ядро – E, промежуточная оболочка – F, внутреннее ядро – G.

Рис. 2.5. Характеристика оболочек Земли



Состав современной мантии по пиролитовой модели А. Е. Рингвуда [23]



Состав углистых хондритов, по [24]

Углистые хондриты обычно рассматриваются в качестве протопланетного вещества, резкие различия составов метеоритного и мантийного вещества обусловлены глубокой дифференциацией материала мантии Земли

Главными элементами современной мантии являются О, Si, Mg, Fe, Ca и Al, это должно учитываться в её минералогических моделях

Рис. 2.26. Химический состав современной мантии в сравнении с составом углистых хондритов

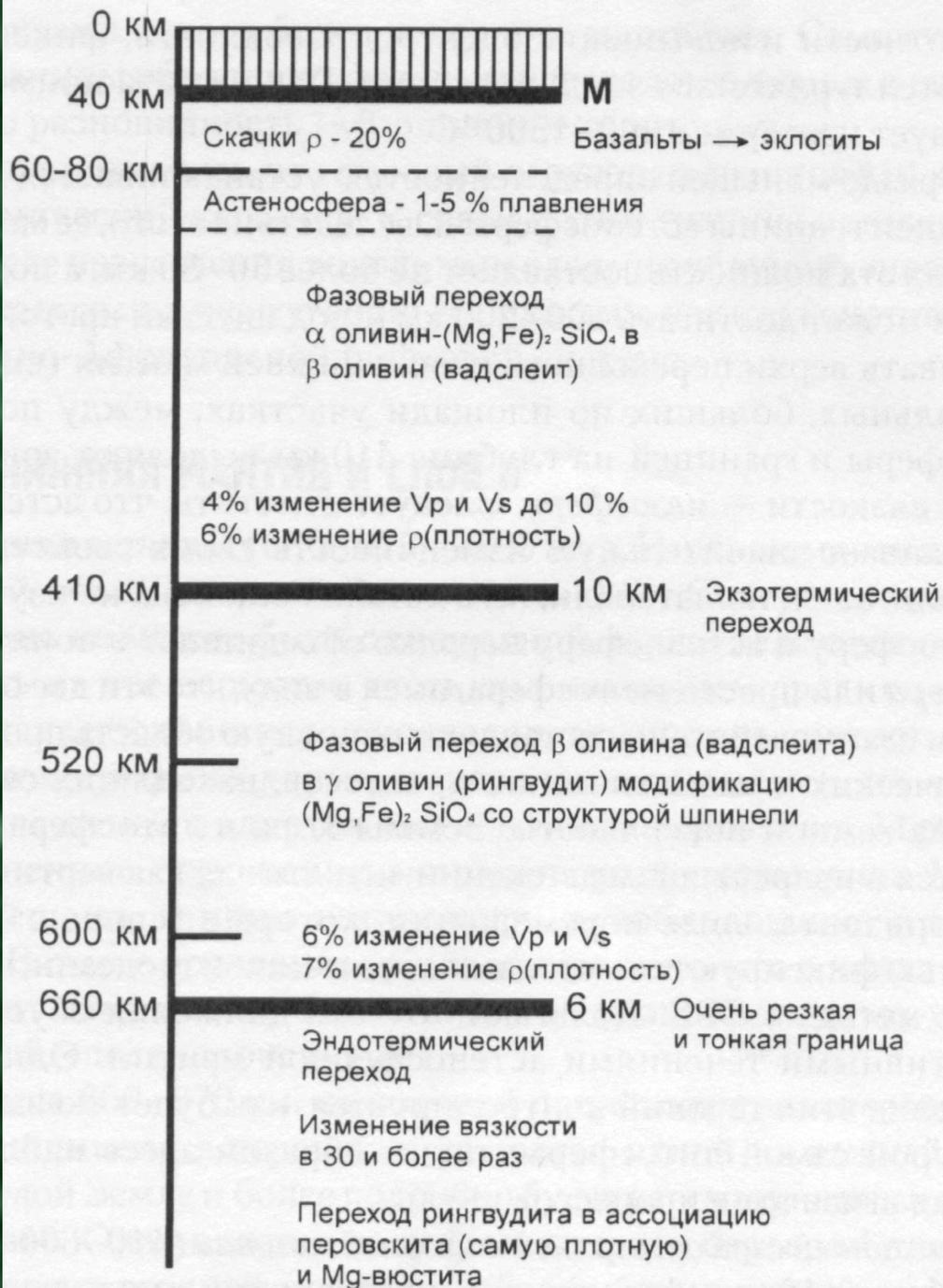


Рис. 2.27. Некоторые фазовые переходы и отдельные сейсмические рубежи в мантии, [33]

Шкала
глубин, км



<http://images.geo.web.ru/pubd/2002/11/14/0001164833/olivine.jpg>

+



http://wiki.web.ru/images/0/05/M-diops_13-1.jpg

Пироксен

410

Оливин

Более плотные
модификации
оливина



<http://www.ksu.ru/gmk/images/25b.jpg>

+



http://www.berthold-weather.com/ber.de/min_gra.jpg

Гранат

670

Шпинель



http://elementy.ru/images/news/postperovskit_perovskit_300.jpg

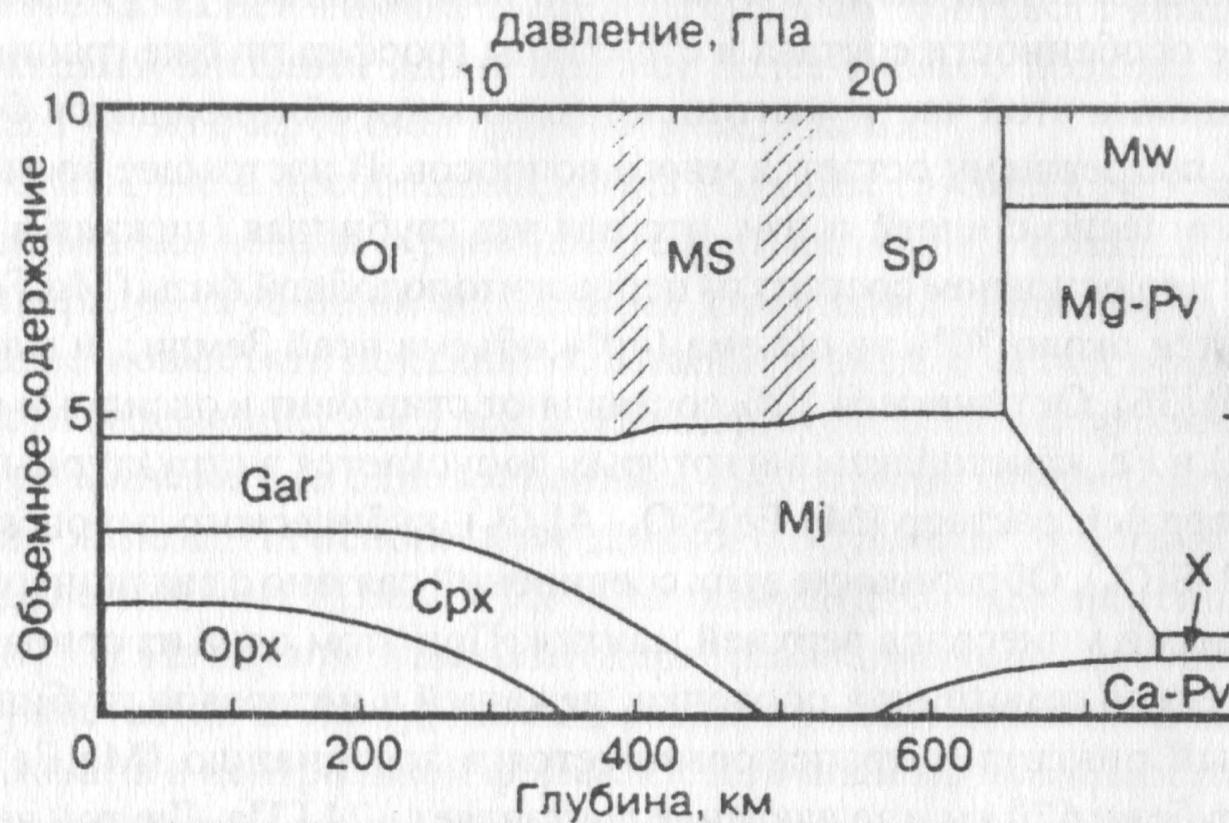
+

Магнезиовюстит

2900

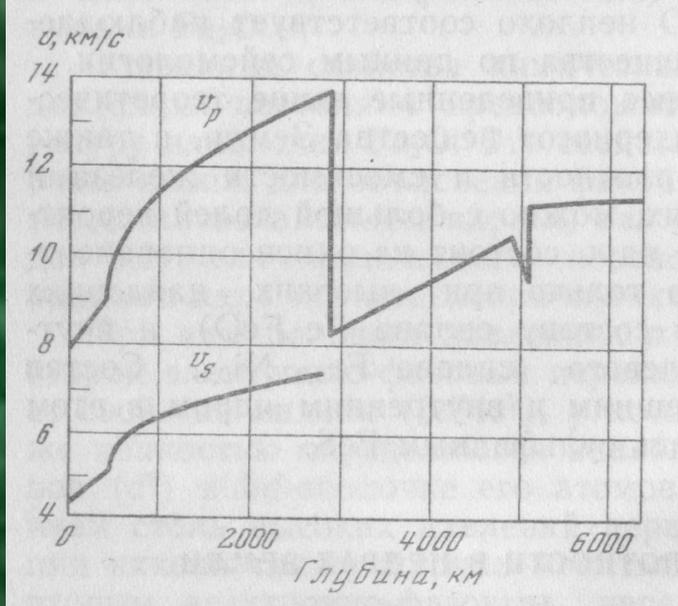
Перовскит

Рис. 2.28. Основные минеральные преобразования в мантии

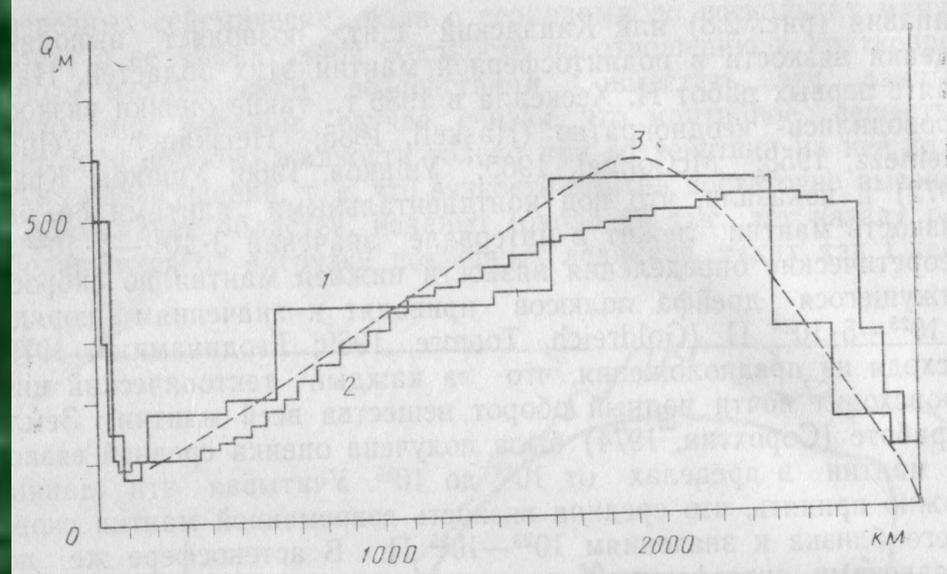


Изменение объемных пропорций минералов пиролита при возрастании давлений (глубины),
 Условные обозначения минералов: Ol – оливин, Gar – гранат, Cpx – моноклинные пироксены, Opx – ромбические пироксены, MS – “модифицированная шпинель” или вадслеит ($\beta\text{-(Mg,Fe)}_2\text{SiO}_4$), Sp – шпинель, Mj – меджорит $\text{Mg}_3(\text{Fe,Al,Si})_2(\text{SiO}_4)_3$, Mw – магнезиовюстит $(\text{Mg,Fe})\text{O}$, Mg-Pv – Mg-перовскит, Ca-Pv – Ca-перовскит, X – предполагаемые Al-содержащие фазы со структурами типа ильменита, Ca-феррита и/или голландита

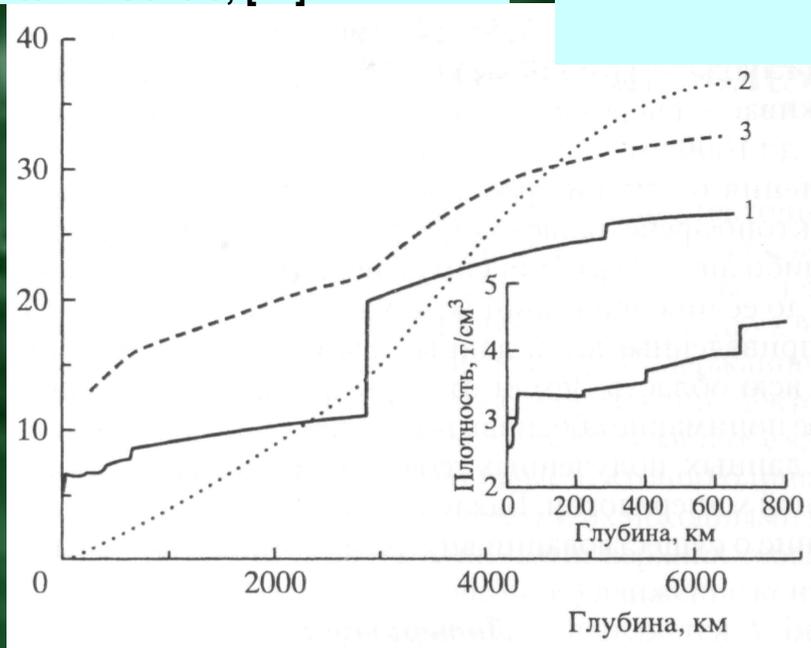
Рис. 2.40. Минералогия мантии, [20]



Скорости распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн в Земле, [24]



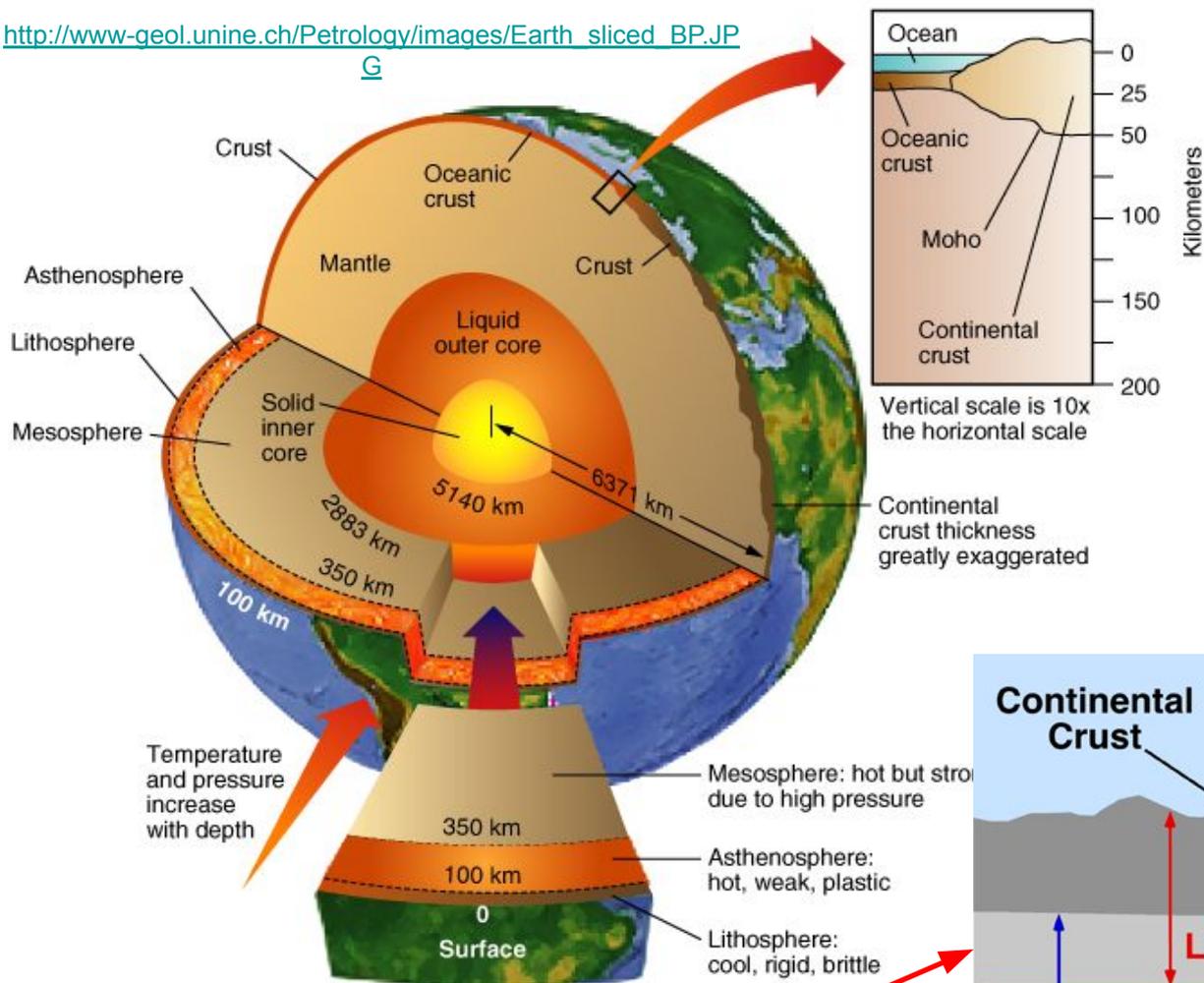
Распределение фактора сдвиговой добротности (Q_m) в мантии Земли по разным авторам, [24] (по этому фактору можно судить о вязкости вещества)



Изменения плотности, давления и температуры в Земле, [19]:
 1 - плотность, $г/см^3$;
 2 - давление, $ГПа/10$;
 3 - температура, $^{\circ}C/100$

Рис. 2.29. Термодинамические, скоростные и другие параметры мантии Земли

G

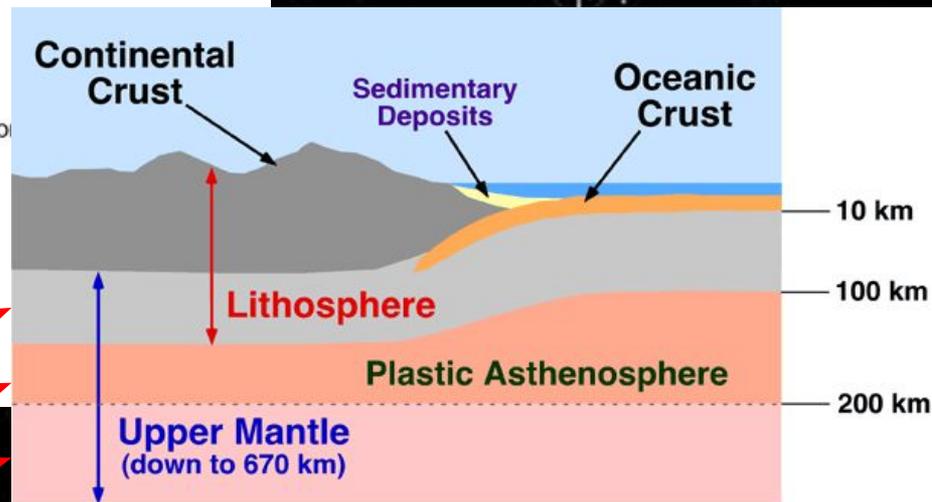


Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Литосферная мантия

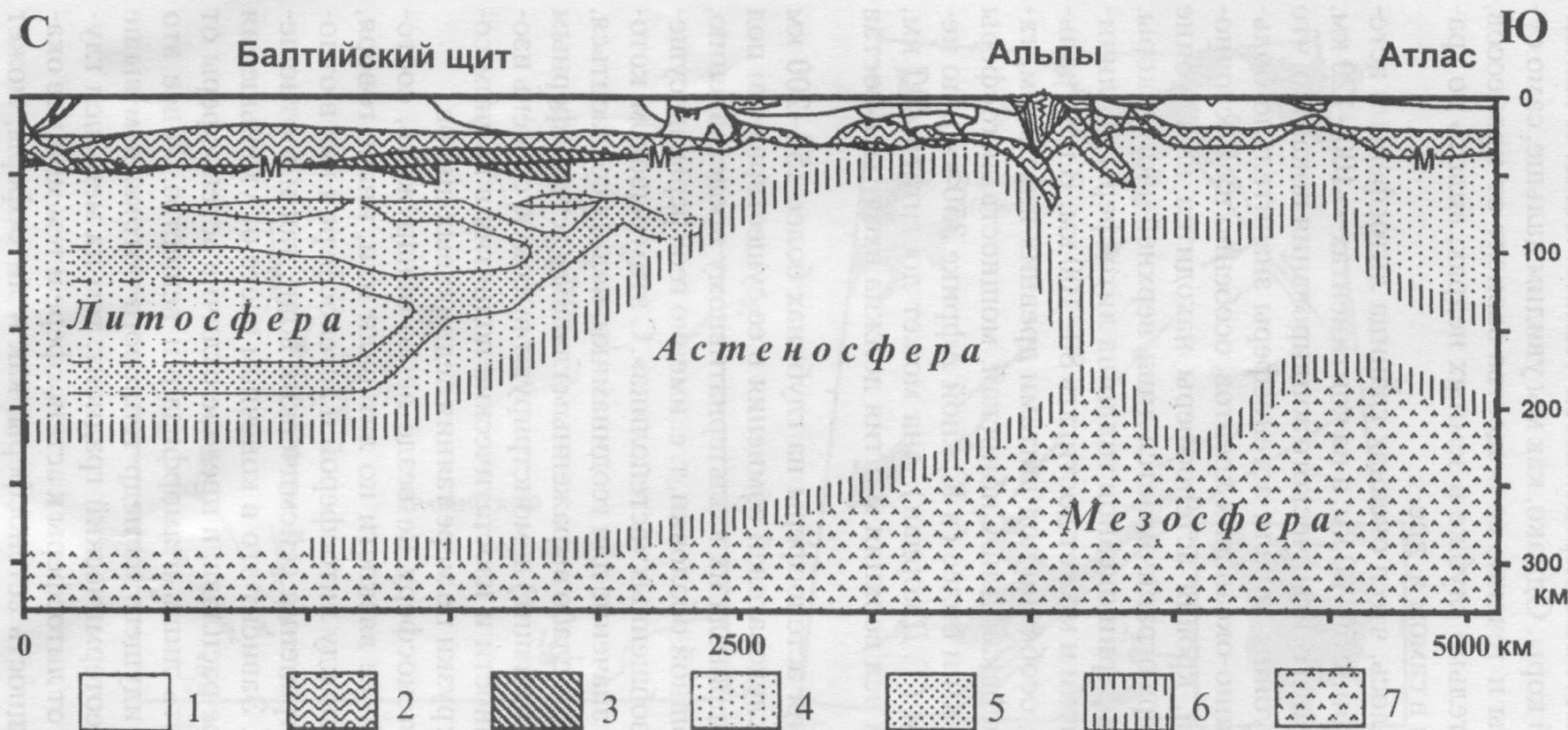
Астеносфера

Мезосфера



<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/images/lithosphere.gif>

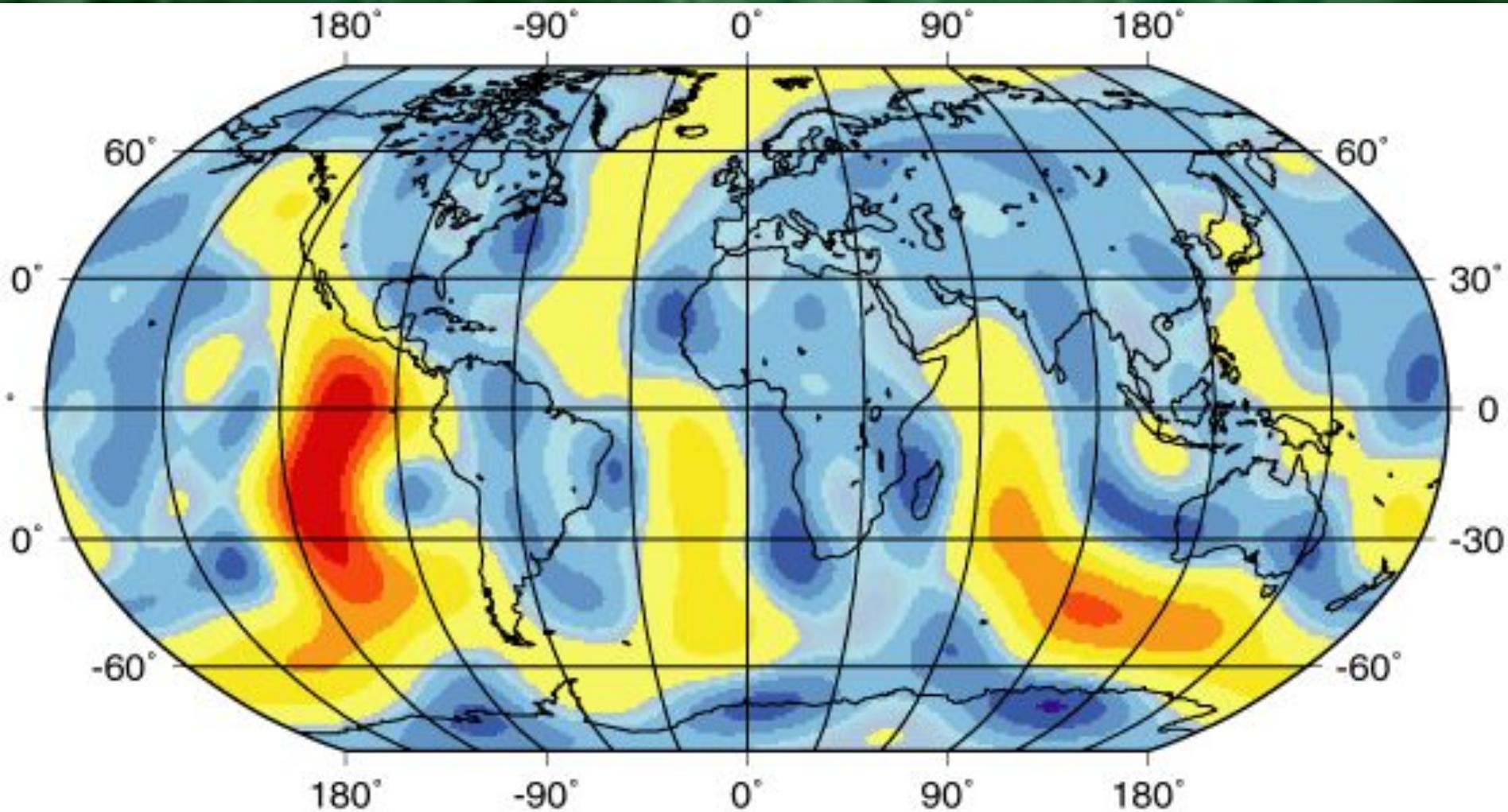
Рис. 2.32. Строение верхней мантии до глубинного уровня 410 км



Главный астеносферный слой и внутрилитосферные слои пониженных скоростей сейсмических волн на геофизическом профиле вдоль линии Европейского Геотраверса (EGT), по Д. Дж. Бланделлу (1999). М — поверхность Мохоровичича.

1 — верхняя кора; 2 — породы нижней коры со скоростями V_p 6,5–7 км/с; 3 — породы нижней коры со скоростями V_p 7–7,5 км/с; 4 — литосфера; 5 — внутрилитосферные слои пониженных скоростей сейсмических волн; 6 — астеносфера; 7 — мезосфера

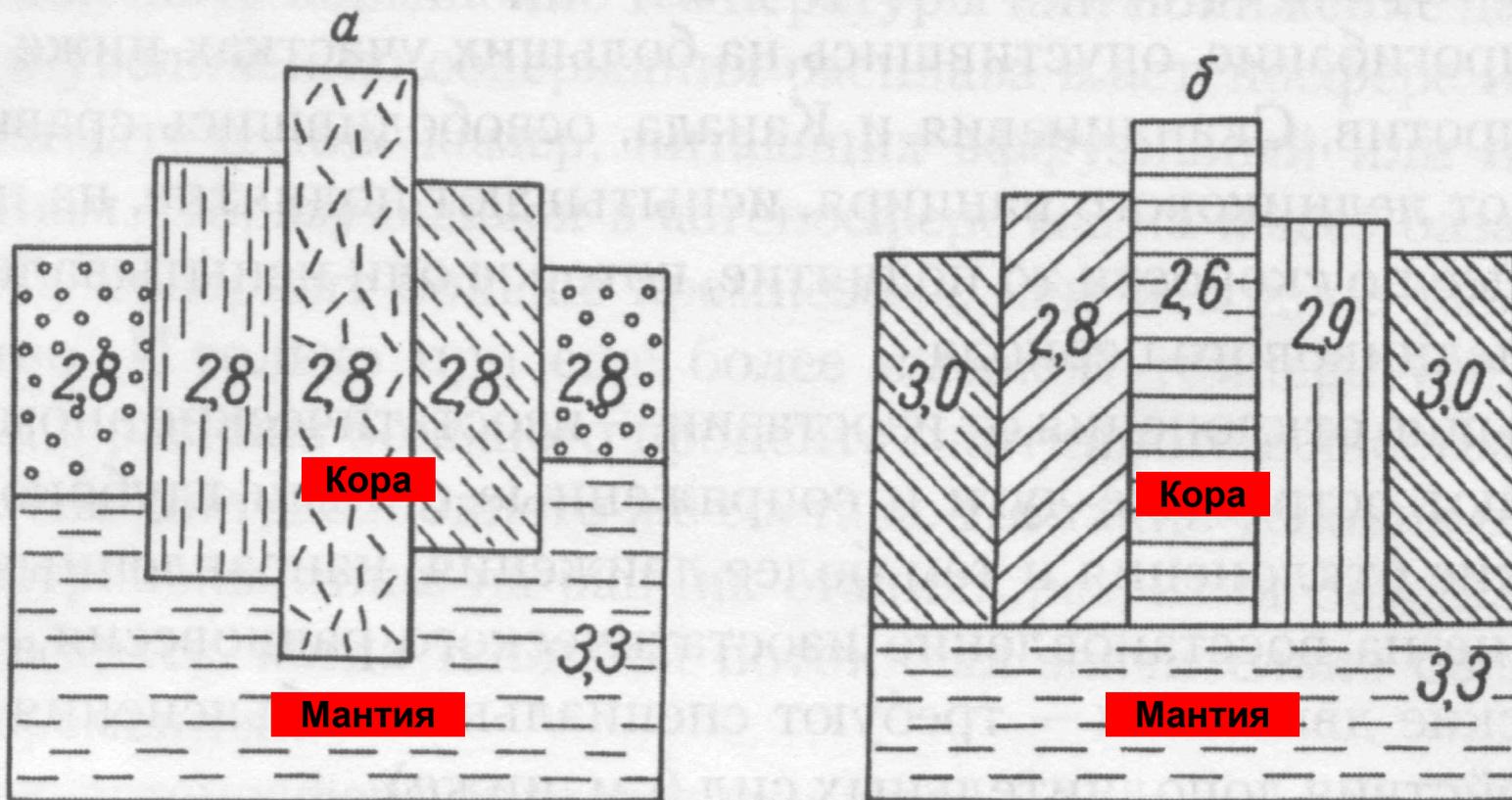
Рис. 2.35. Положение астеносферы под континентами, [34]



http://eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/HTML/Classes/IntroQuakes/Notes/Images_specific/heatflow.gif

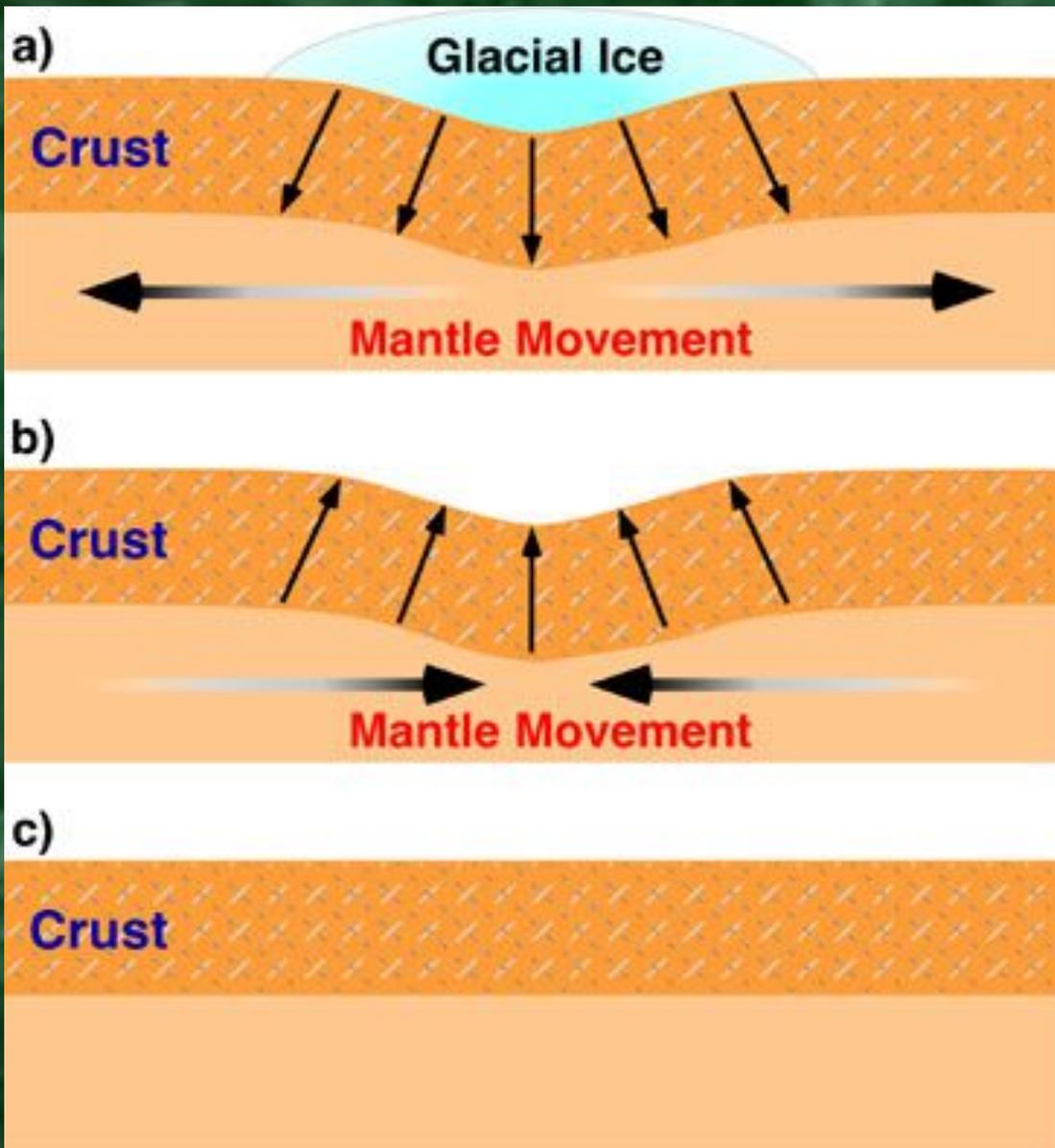
Величина тепловых потоков возрастает по мере смены тёмно-голубой окраски светло-голубой и далее переходом жёлтой окраски в красную; карта наглядно иллюстрирует приуроченность повышенных значений тепловых потоков к срединно-океанским хребтам, которые отличаются минимальной глубиной залегания кровли астеносферы

Рис. 2.36. Карта современных тепловых потоков



Цифры на рисунках – плотности вещества (блоков) в г/см^3

Рис. 2.37. Модели изостазии Дж. Эри (а) и Дж. Пратта (б), [34]

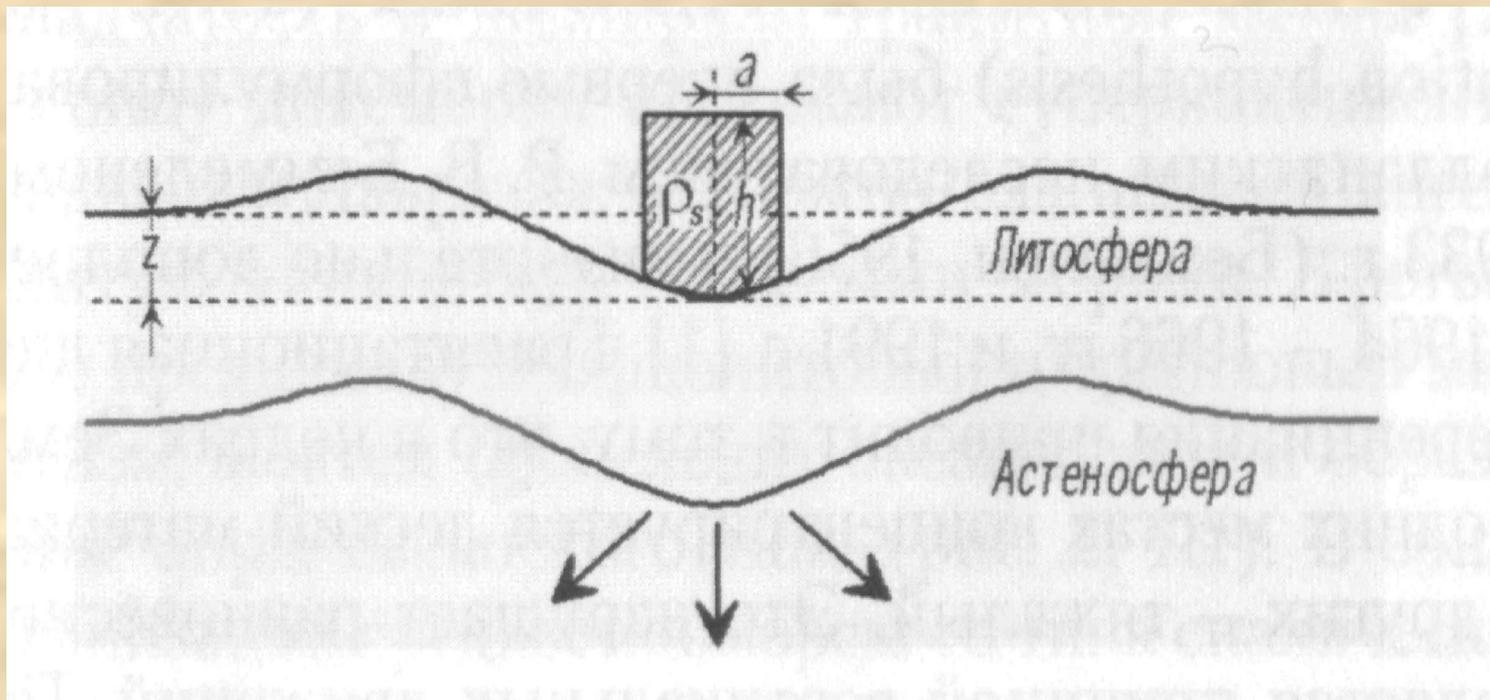


- При увеличении давления на литосферу (например за счет ледников) она погружается, что возможно за счет растекания пластичного астеносферного вещества
- При исчезновении дополнительной нагрузки литосфера воздымается
- Подобного типа вертикальные движения возможны лишь за счёт существования астеносферы
- При сходе Антарктического ледника, мощность которого достигает 5 км, Антарктида поднимется на 0,6-0,8 км

Подписи на рисунке следует понимать так: Crust – литосфера, Mantle - астеносфера

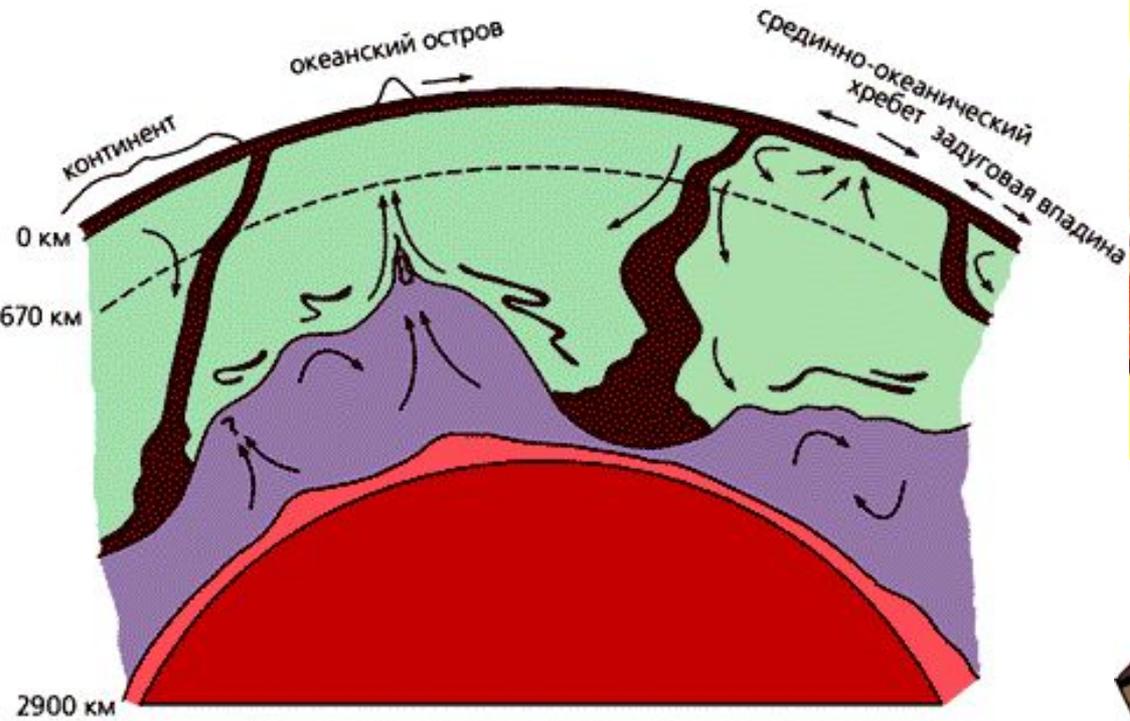
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/images/isostasy.jpg>

Рис. 2.38. Проявления вертикальных изостатических движений литосферы



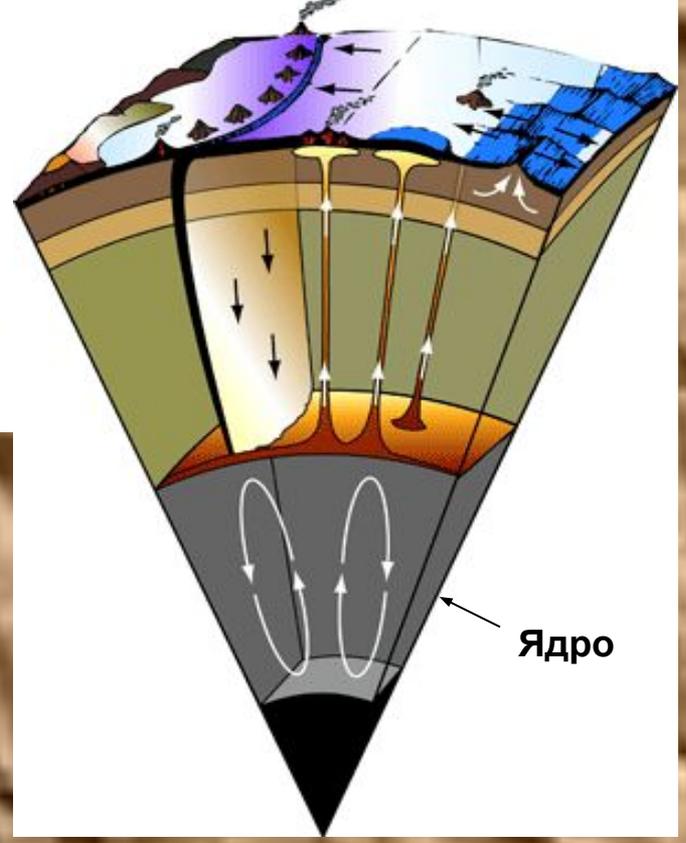
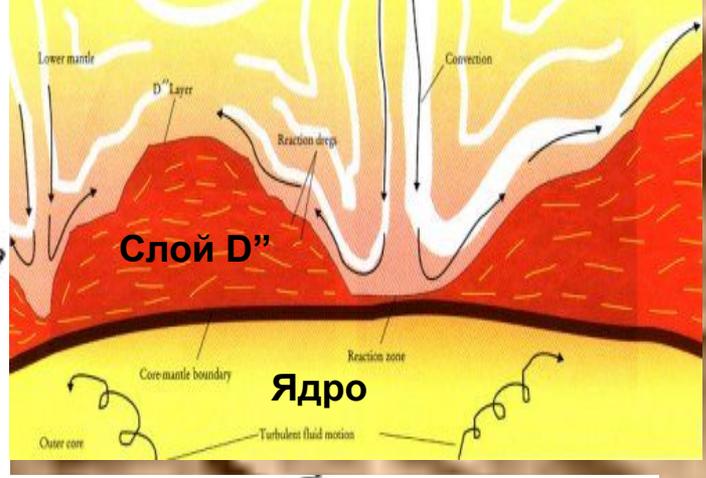
Упругий изгиб литосферы сопровождается оттоком от её подошвы астеносферного материала, а также появлением характерных “вздутий” по периферии области приложения нагрузки. До тех пор, пока литосфера способна компенсировать приложенную к ней нагрузку своей упругостью (прочностью на изгиб), она будет находиться на поверхности Земли, стремясь к состоянию региональной изостатической компенсации. Если же величина нагрузки превысит прочность литосферы на изгиб, в ней образуются сквозные расколы, после чего отдельные блоки литосферы либо перейдут в состояние локальной изостатической компенсации (модели Эри и Пратта, это выполняется для континентальной литосферы), либо утонут в подстилающем субстрате (астеносфере, это происходит с океанской литосферой в зонах субдукции) [18, с. 332].

Рис. 2.39. Схема региональной изостатической компенсации, [18]



- Земная кора и слэбы
- Мантия
- Граница верхней и нижней мантии
- Низы мантии
- Слой D''
- Ядро

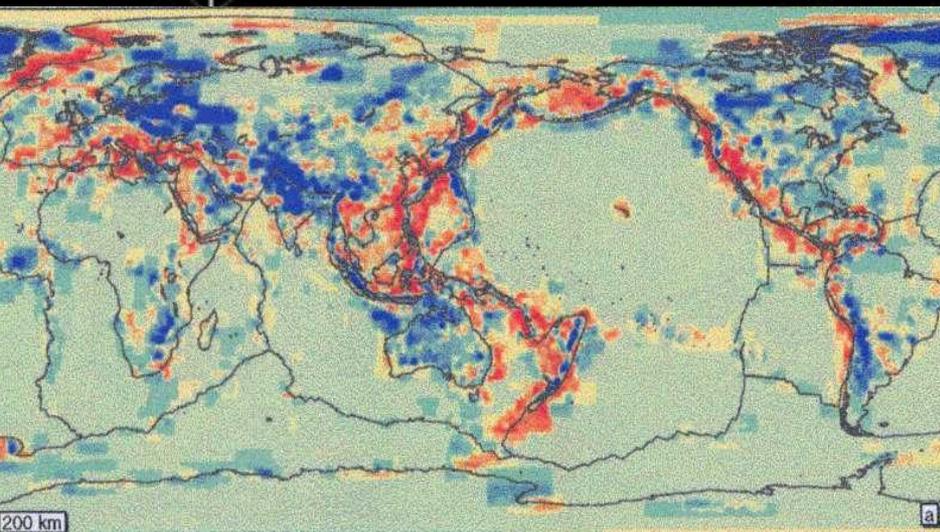
http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/01_02/XAIN2.GIF



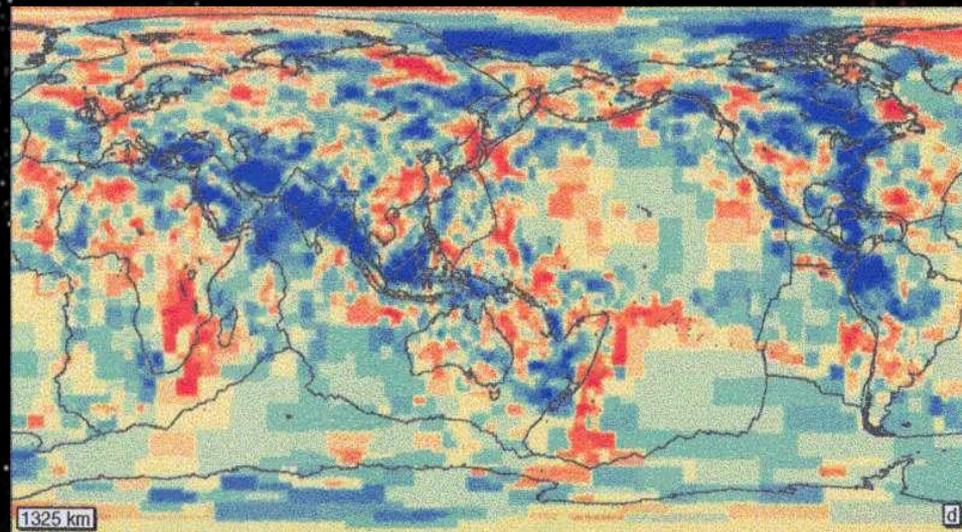
http://www.columbia.edu/itc/leo/earths/ci/topic4/core_mantle_bound2.jpg

<http://www.mps.mpg.de/projects/planetary-dynamics/StrohbachVerySmall.gif>

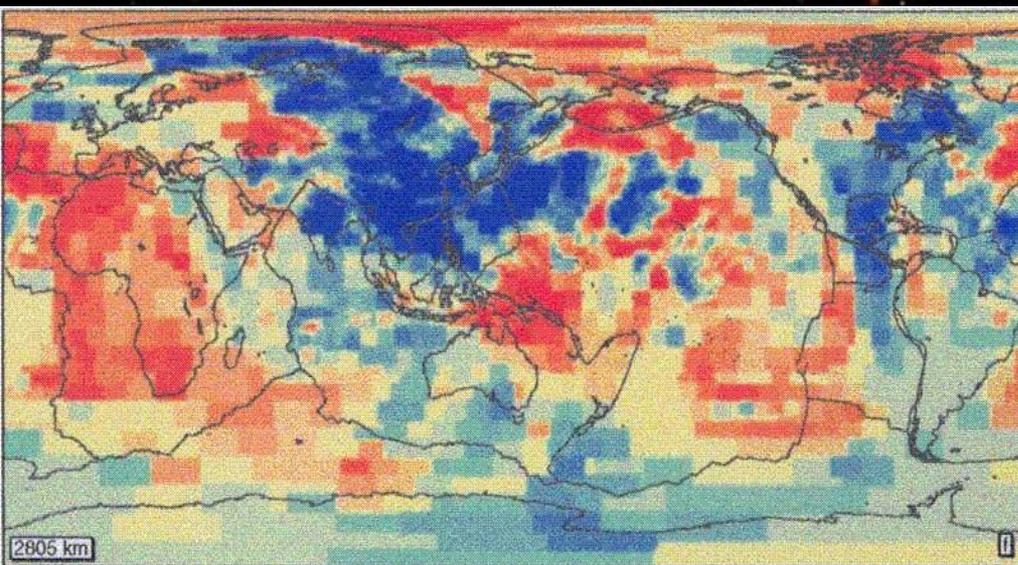
Рис. 2.41. Схема восходящих и нисходящих движений мантийного вещества



Глубинный уровень 200 км



Глубинный уровень 1325 км

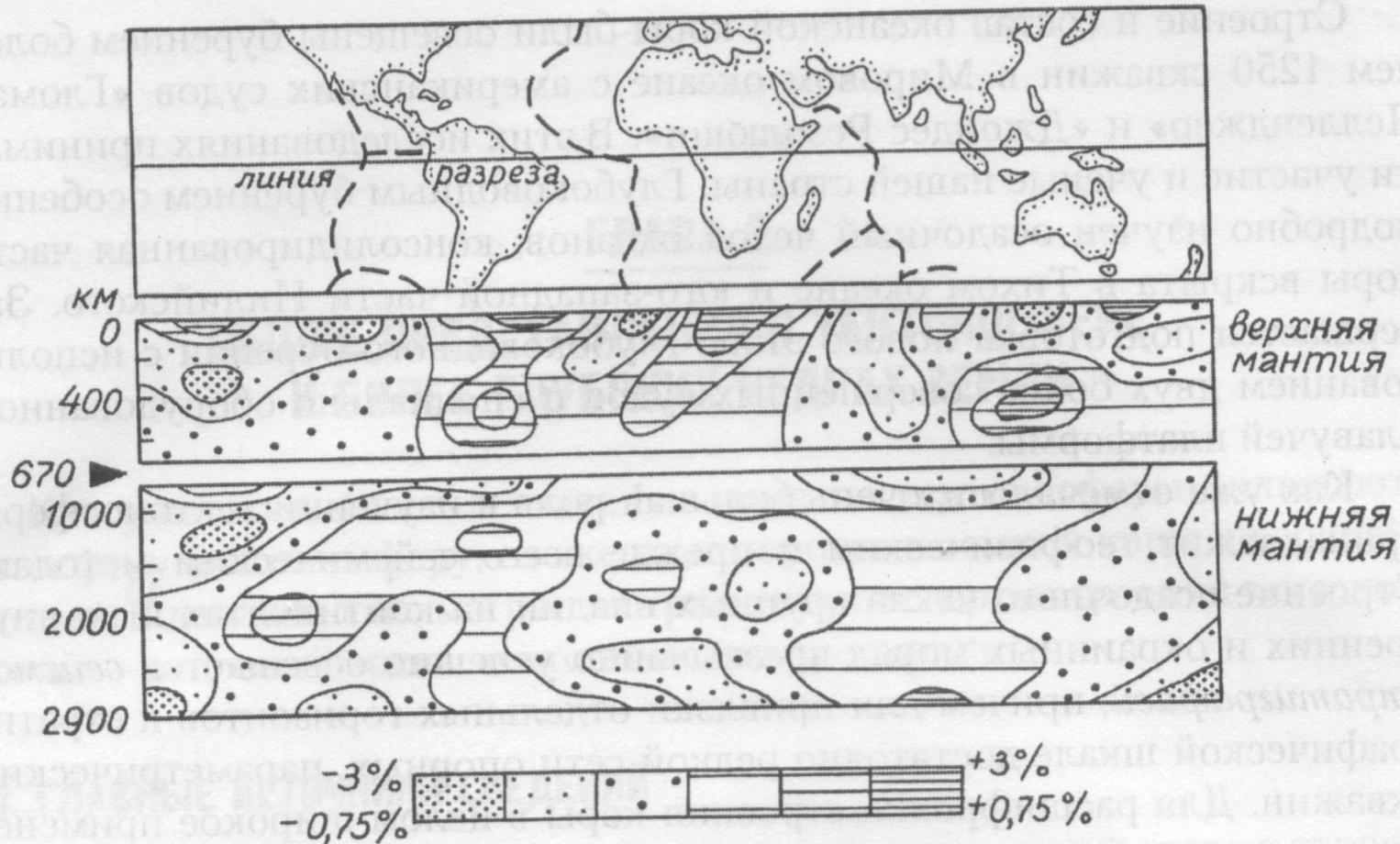


Глубинный уровень 2805 км

Цветом показаны отклонения сейсмических скоростей от их средних значений для соответствующих глубин: наиболее скоростные участки (блоки) отражены синей окраской, наименее скоростные - красной

Сейсмическая томография показывает, что на одной и той же глубине в мантии распространены блоки различной упругости (плотности)

Рис. 2.42. Сейсмотомографические срезы различных мантийных глубин

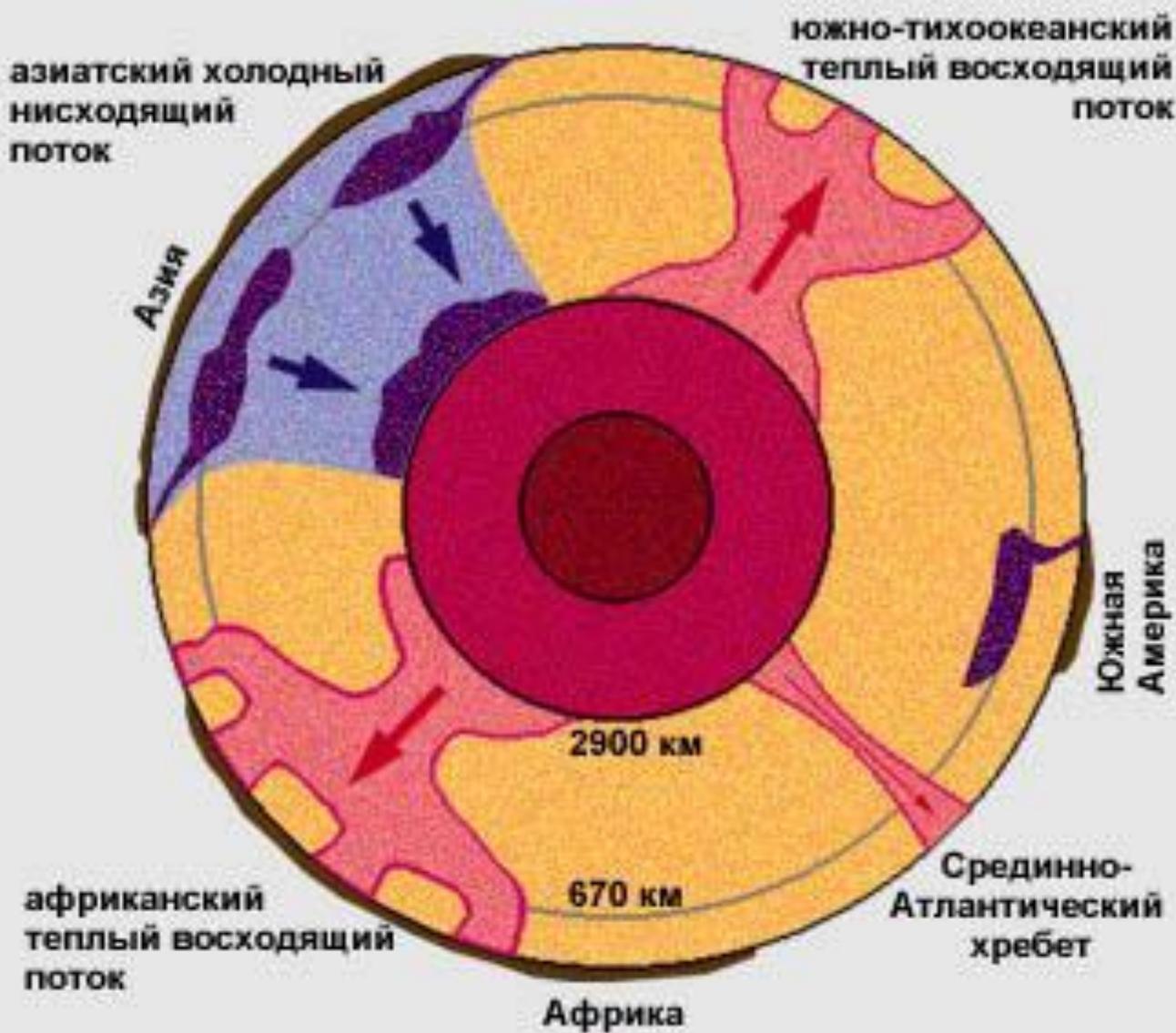


Разрез мантии Земли вдоль линии экватора, по данным сейсмической томографии (Дж. Вудхауз, А. Дзевонский, 1984).

Аномалии скоростей сейсмических волн — в процентах от «нормальных» значений, нарастающих с глубиной.

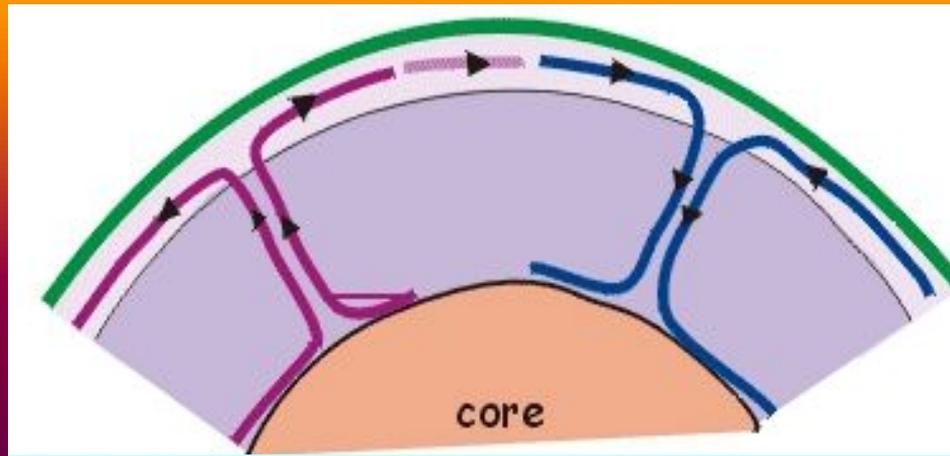
На шкале верхние цифры для поперечных волн, нижние — для продольных

Рис. 2.44. Вариации сейсмических скоростей в мантии, [34]

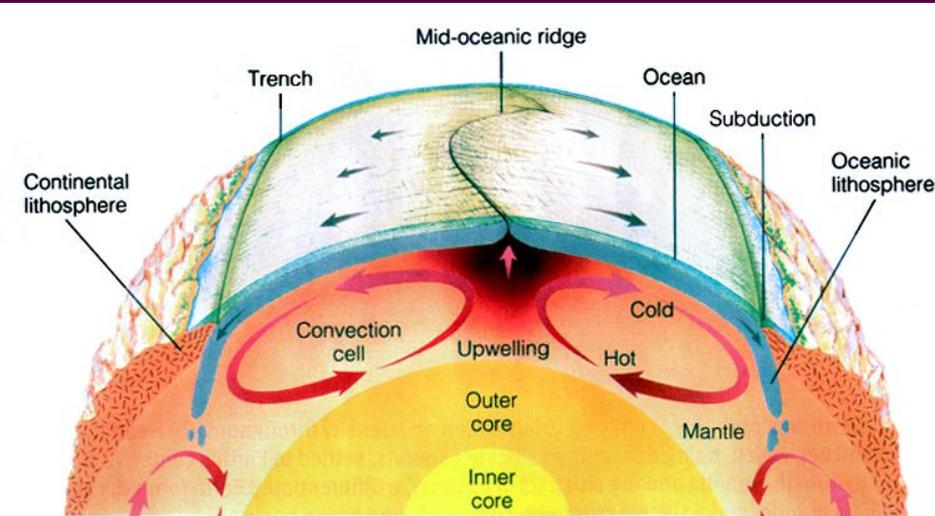


Нисходящие потоки иногда называют "аваланшами". Южно-Тихоокеанский и Африканский апвеллинги располагаются в пределах Тихоокеанского (чисто океанского) и Индо-Атлантического (континентально-океанского) сегментов Земли, которые определяют главную структурную асимметрию нашей планеты

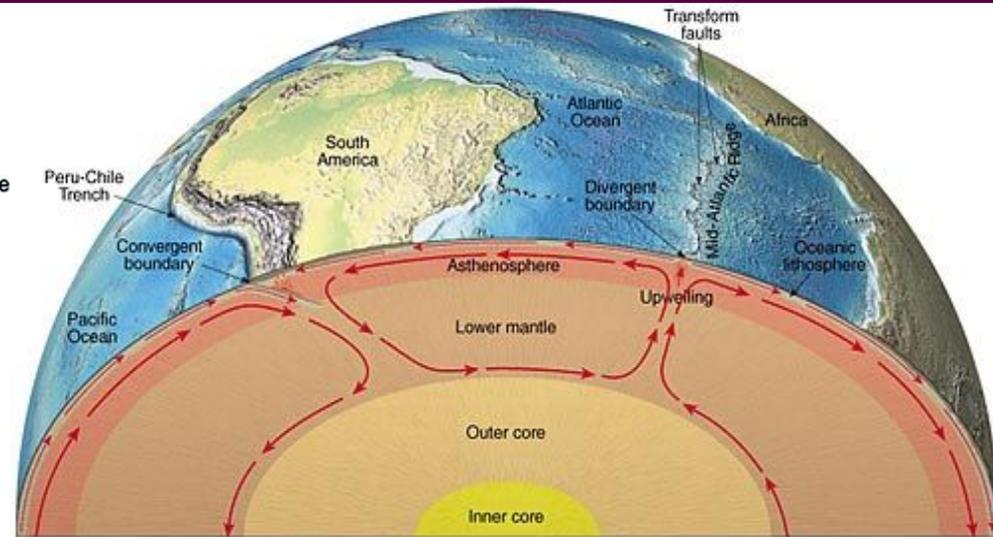
Рис. 2.45. Расположение крупнейших современных восходящих и нисходящих мантийных потоков



<http://www.see.leeds.ac.uk/structure/dynamicearth/convection/models.gif>

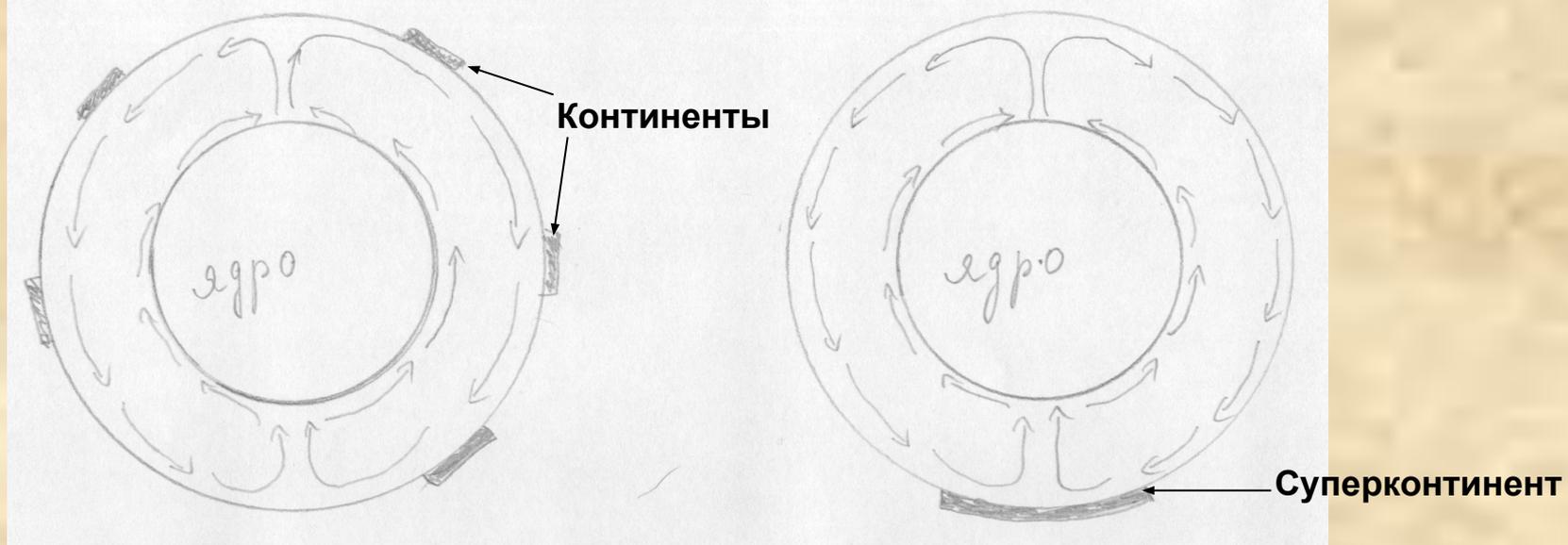


<http://www.yorku.ca/esse/veo/earth/image/1-3-2.JPG>



http://dn.redwoods.edu/coursenotes/renner/geo_images/plate_tectonics/mantle_convection.jpg

Рис. 2.47. Общемантийная конвекция

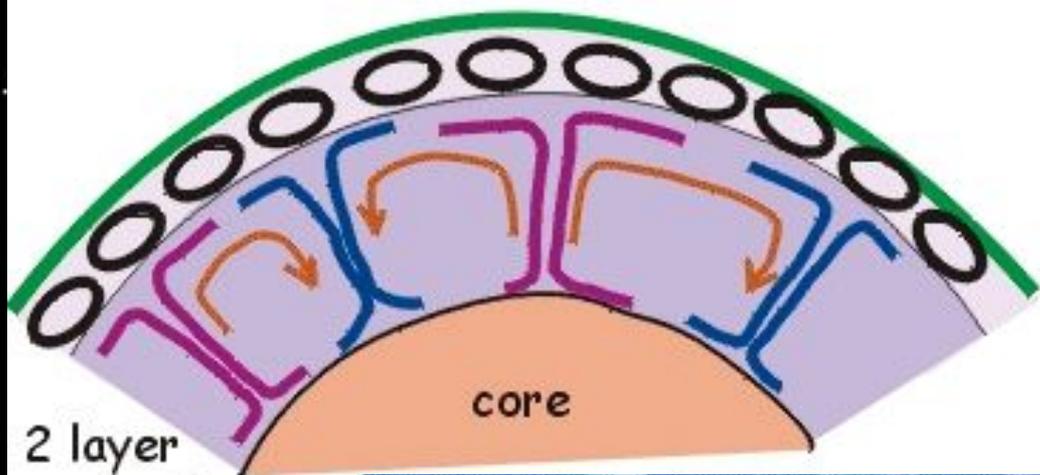


Общемантийная одноячеистая конвекция

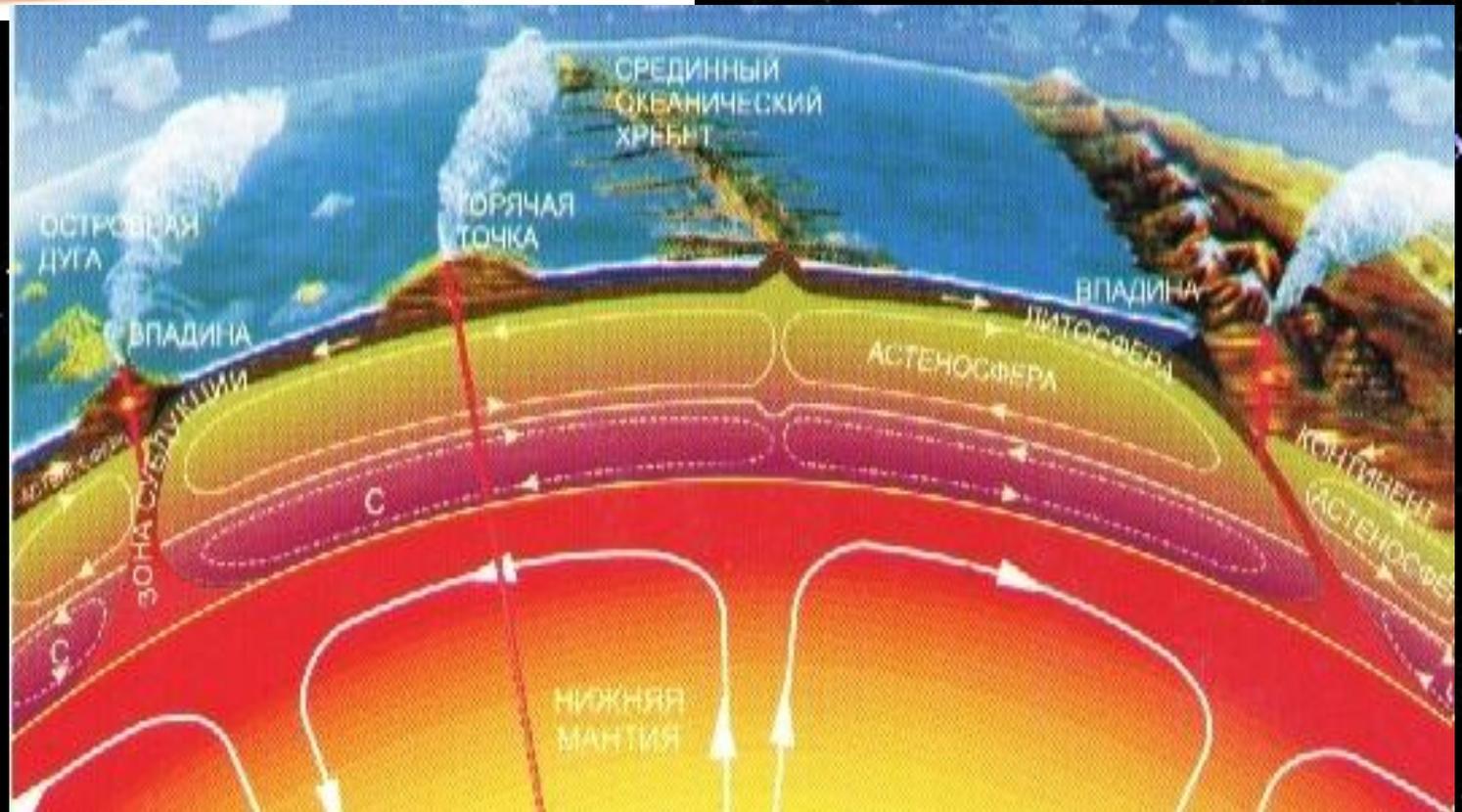
- При такой конвекции все континенты со временем будут соединены в один континент (суперконтинент), которому будет “противостоять” единый океан – Панталасса. При изменении типа конвекции суперконтинент будет расколот.



Рис. 2.48. Условия и время формирования суперконтинентов

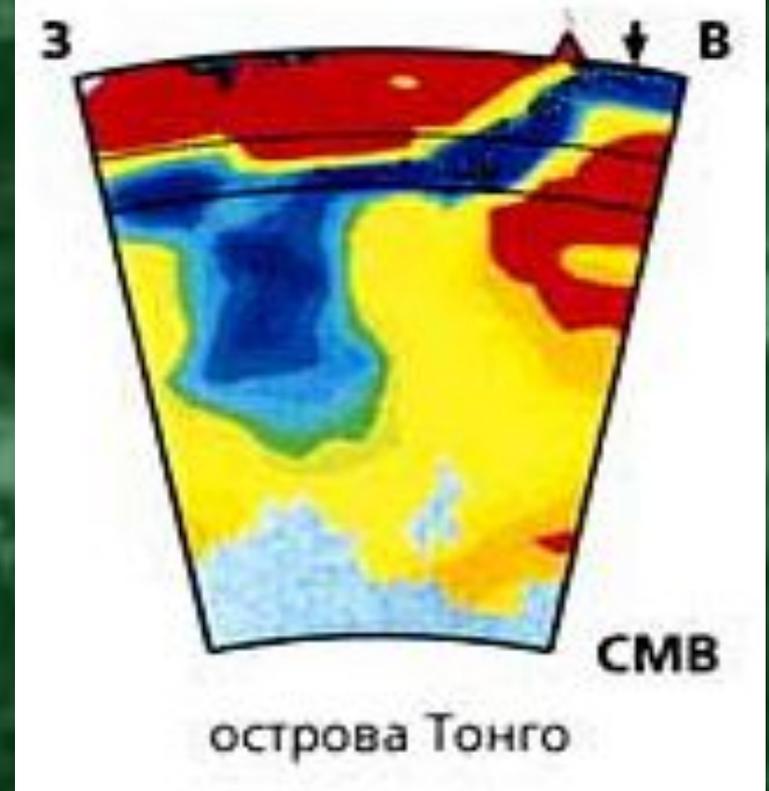
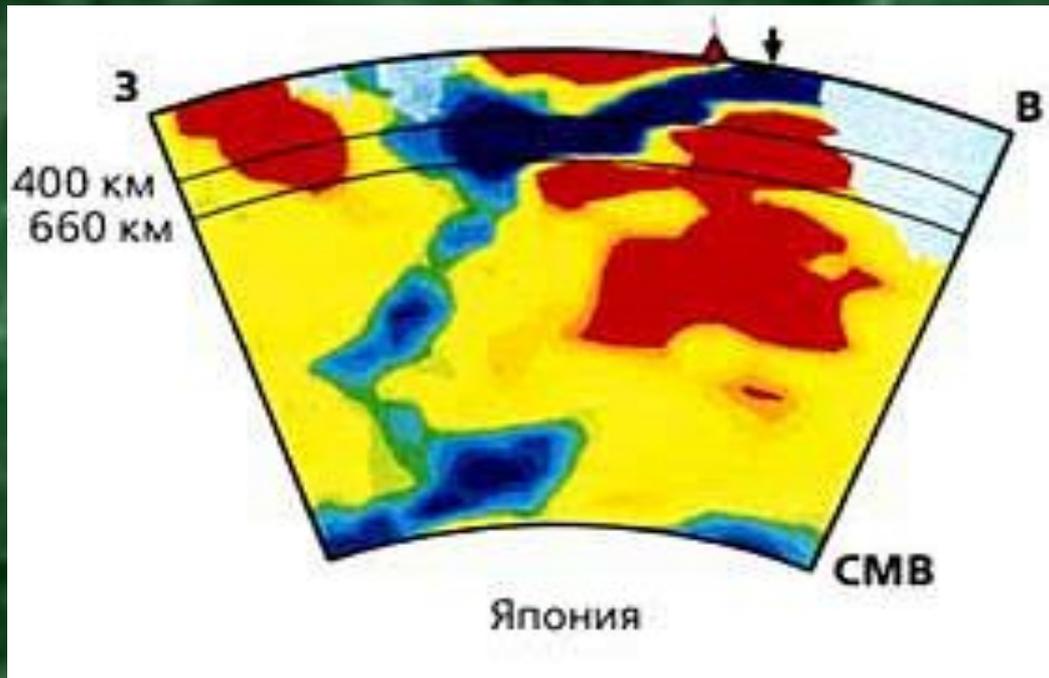


<http://www.see.leeds.ac.uk/structure/dynamicearth/convection/models.gif>



http://vmeste.org/naukarus/img/article_0012_0001.jpg

Рис. 2.49. Двух- и трёхъярусная мантийная конвекция



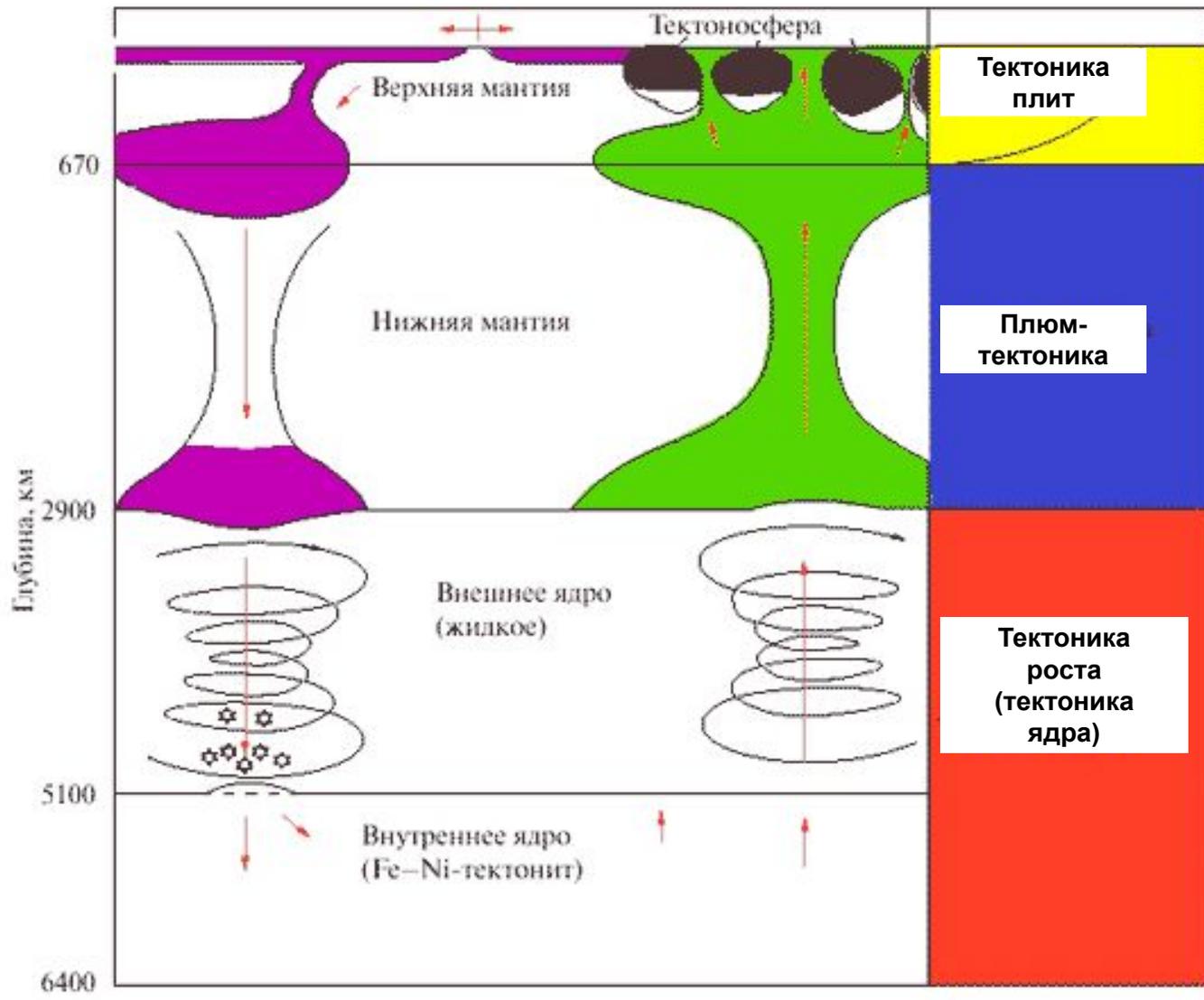
http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/01_02/XAIN3.JPG

Красно-синей цветовой гаммой отражены отклонения сейсмических скоростей относительно средних (нормальных) значений: синим цветом показаны наиболее скоростные участки, а красным – наименее скоростные.

Стрелка у поверхности – глубоководный желоб, СМВ – граница мантия-ядро.

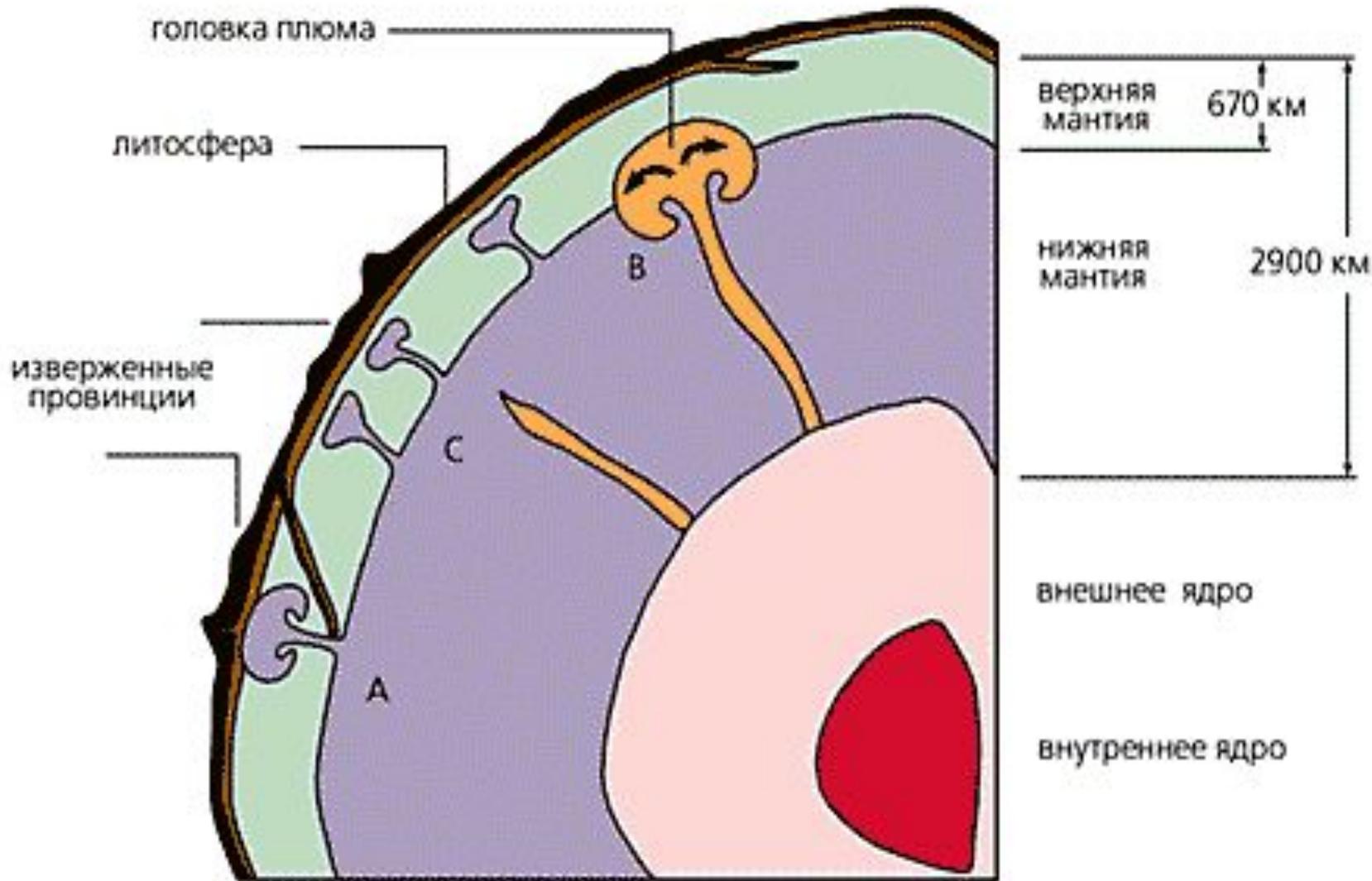
Высокоскоростные участки соответствуют слэбам (субдуцировавшим океанским литосферным плитам). Рисунки наглядно отражают, что холодное вещество слэбов достигая глубинной границы 670 км вытягивается вдоль него, далее при постепенном накоплении холодного и плотного материала возможно его “обрушение” вплоть до границы с ядром.

Рис. 2.50. Сейсмотомографические профили зон субдукции



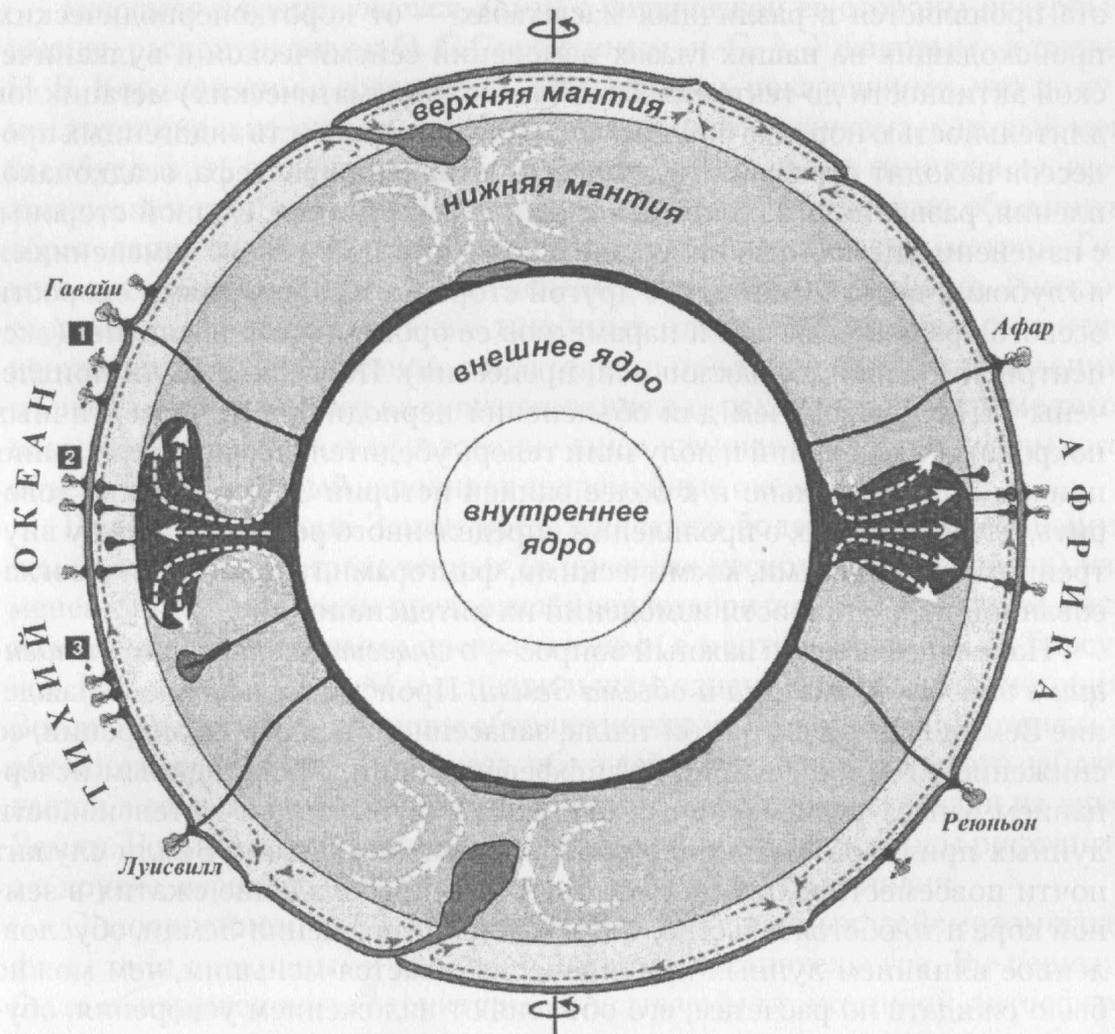
По японским исследователям тектоника плит поставляет холодный материал в область плюм-тектоники, проникающий до ядра. От ядра поднимается горячий материал (суперплюм), инициирующий тектонику плит

Рис. 2.51. Схема глобальной динамики Земли



Материал плюмов в сравнении с материалом обрамления отличается более высокой температурой (на 200-300 °С), иногда допускается и некоторое их отличие по составу

Рис. 2.52. Основные уровни зарождения и строение плюмов



Вероятное происхождение мантийных плюмов/горячих точек разной глубинности с учетом рециклинга вследствие субдукции литосферного материала до границы с нижней мантией и дальнейшего его погружения до слоя D" у границы с ядром. Размещение плюмов контролируется Тихоокеанским и Африканским максимумами мантийного апвеллинга. По В. Куртийо и др., 2003. Цифры в квадратах (1–3) — три категории плюмов по их глубинности

Рис. 2.53. Расположение современных плюмов, [34]

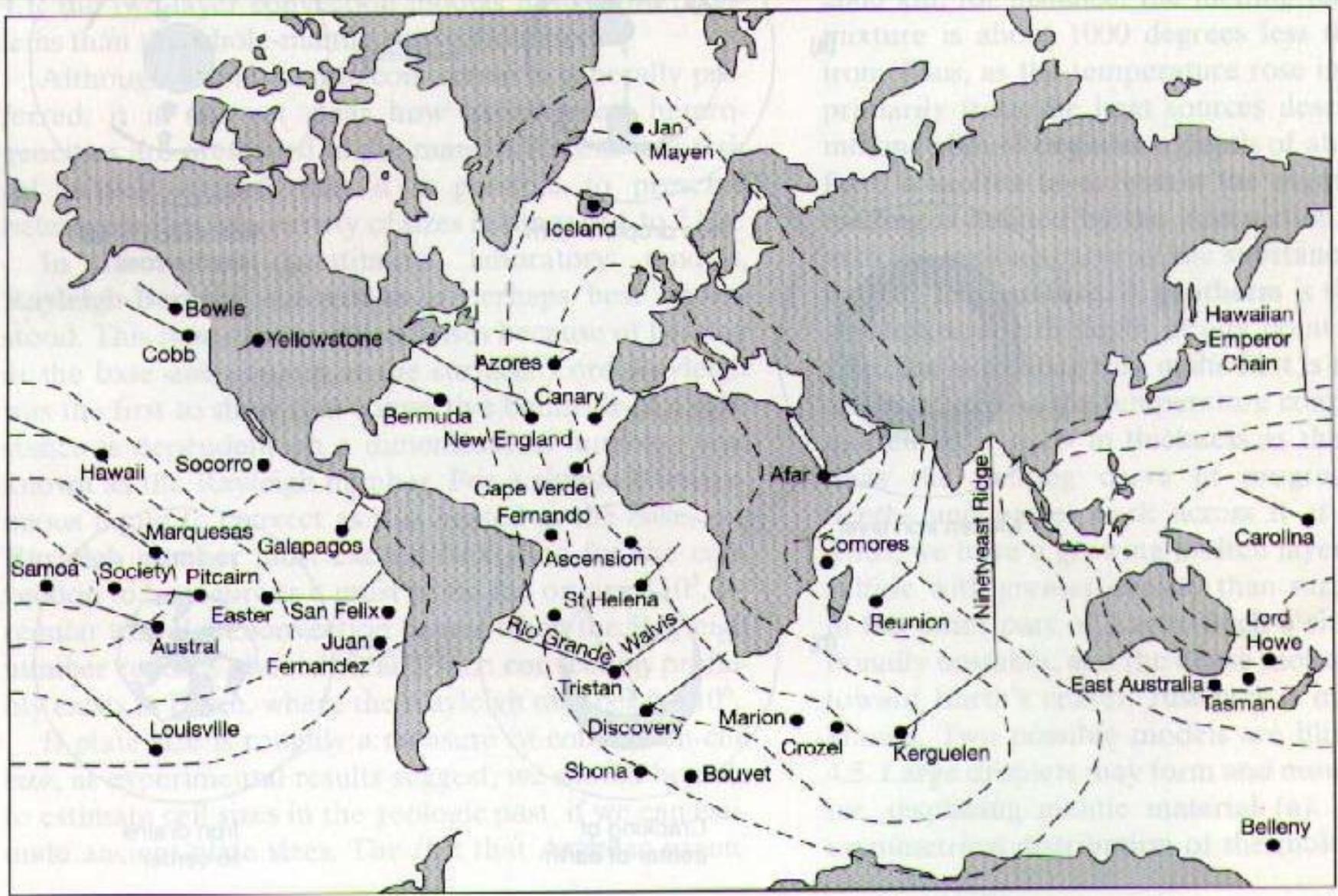
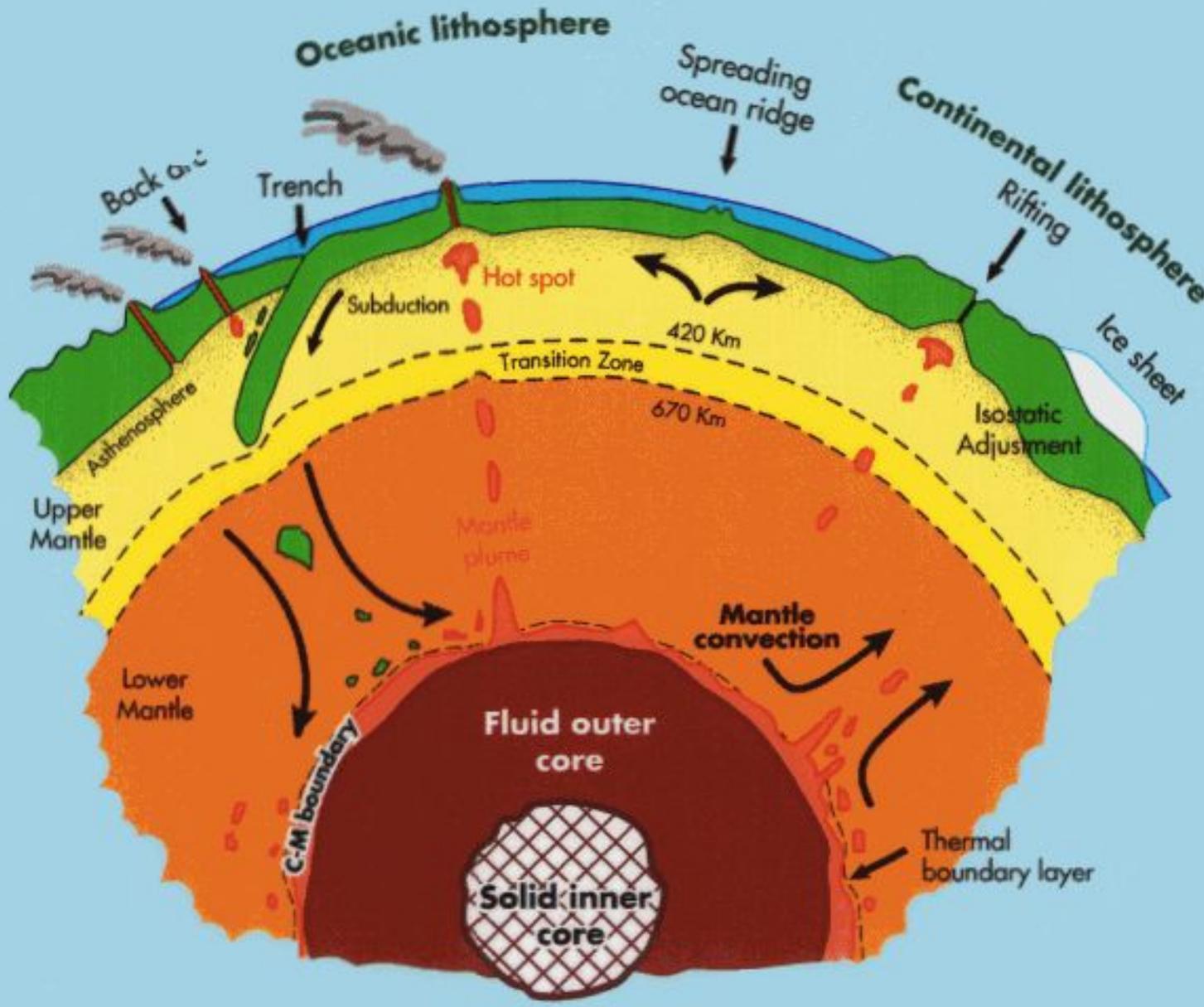


Рис. 2.54. Проекция на поверхность Тихоокеанского и Африканского апвеллингов и отдельных плюмов, проявленных горячими точками



Соотношение плюмов с мантийной конвекцией до конца не ясно. С одной стороны суперплюмы являются восходящими ветвями мантийных течений, с другой стороны отдельные плюмы располагаются на значительном расстоянии от них и ведут себя независимо от мантийной конвекции, при этом вопросы подъема плюмового материала через конвектирующую мантию и возможности отклонения его плюмового потока – остаются открытыми.

Рис. 2.55. Соотношение плюмов и мантийной конвекции

Астеносфера

Слой D''

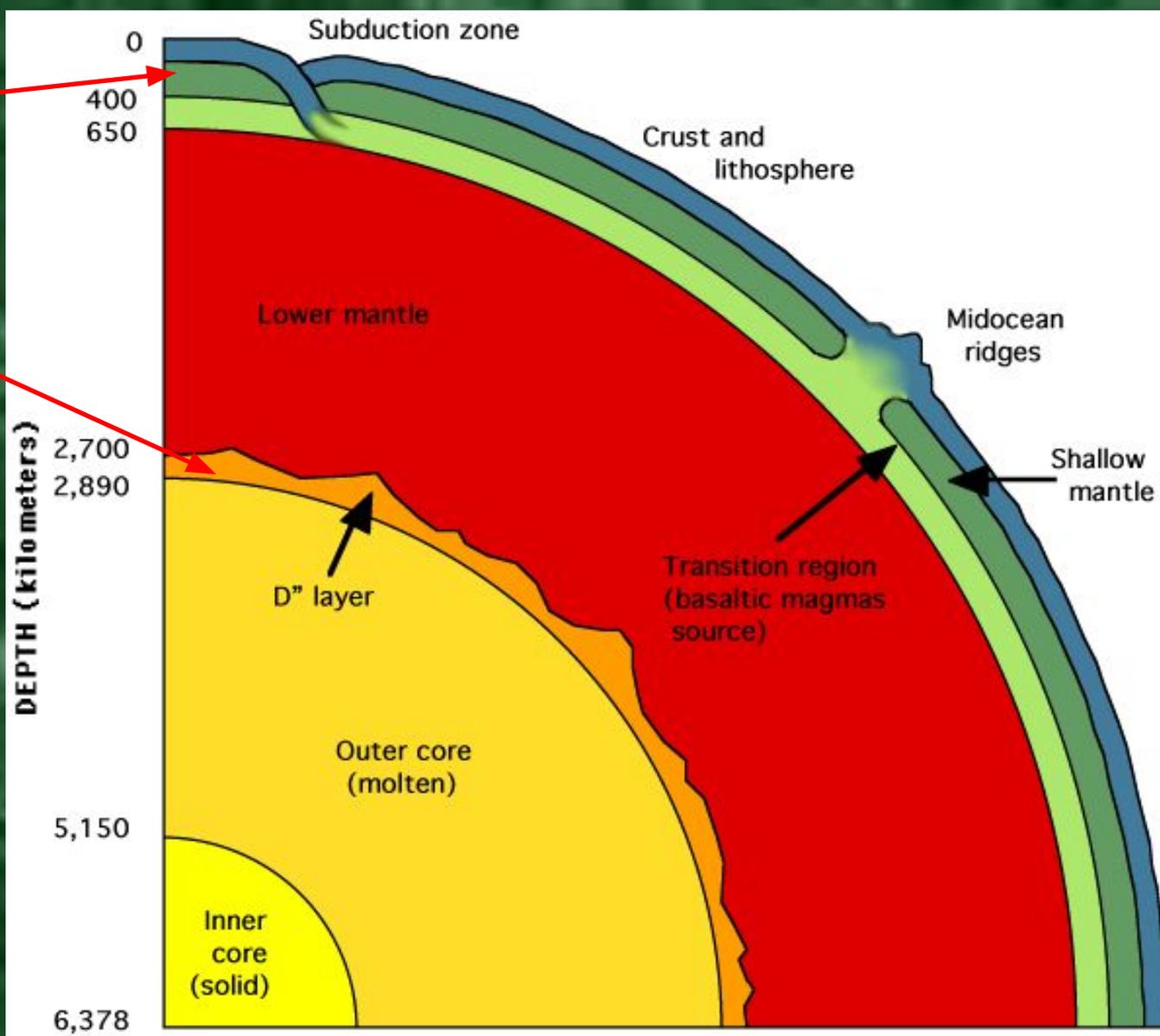
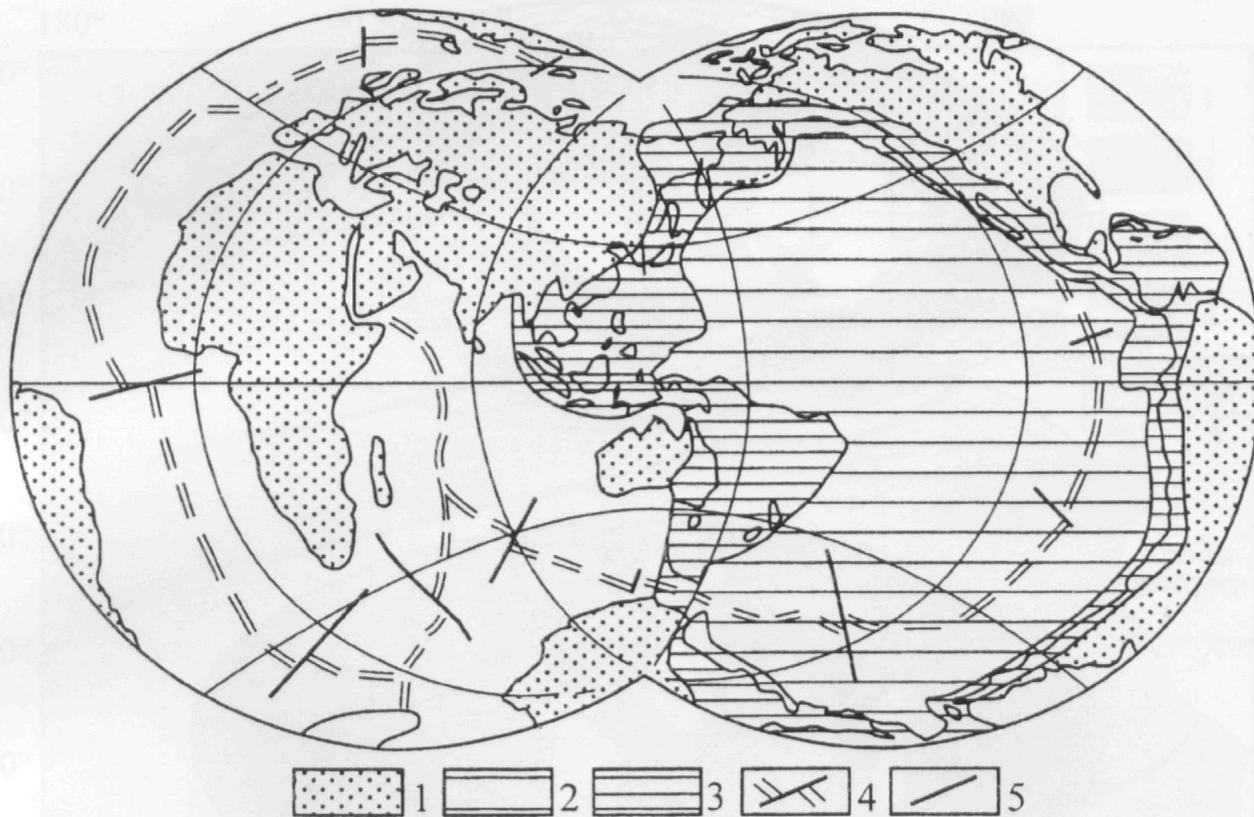


Рис. 2.56. Расположение ослабленных слоёв в современной мантии



Главные тектонические сегменты Земли: Тихоокеанский и Индо-Атлантический. По периферии Тихого океана простирается круговой Тихоокеанский тектонический пояс, где происходят самые сильные на Земле сейсмические, вулканические и структурообразующие процессы. На пространстве океанов видна Мировая рифтовая система

1 – континентальные области Индо-Атлантического сегмента; 2, 3 – Тихоокеанский сегмент: 2 – ложе Тихого океана, 3 – Тихоокеанский тектонический пояс; 4 – Мировая рифтовая система; 5 – разломы

Рис. 2.57. Главная структурная асимметрия Земли, [21]