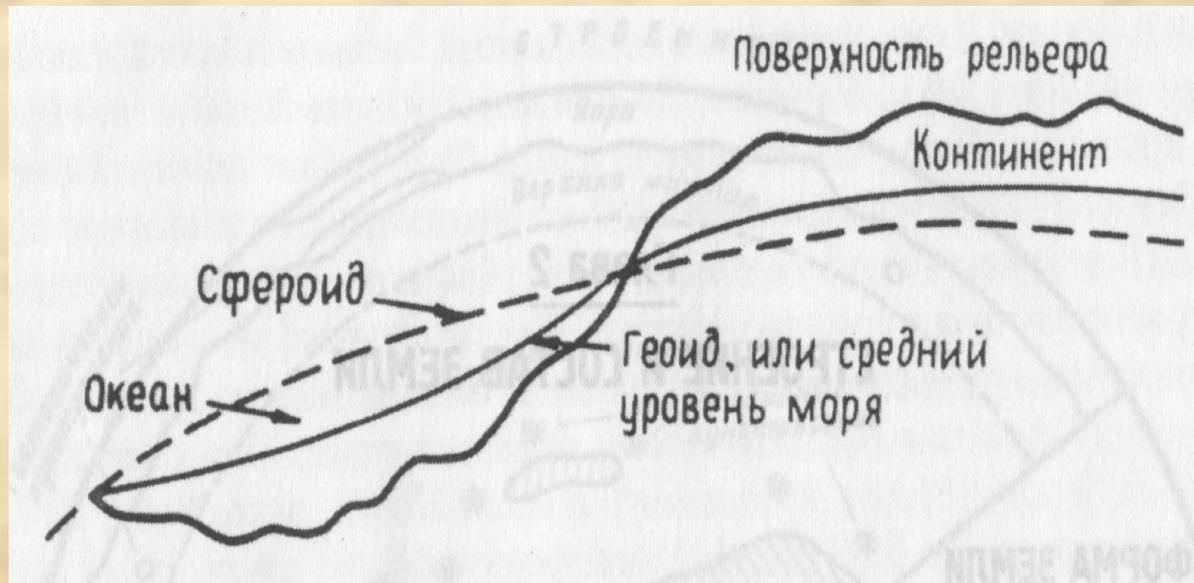




<http://www.astrogalaxy.ru/foto/001/foto0447.JPG>

Вид Земли с Луны



Соотношение поверхностей рельефа, эллипсоида вращения и геоида, по [9]

(поверхность геоида совпадает с уровнем Мир.океана, а в пределах континентов везде перпендикулярна направлению отвесной линии, положение которой зависит от распределения масс в Земле)

Рис. 2.1. Форма Земли

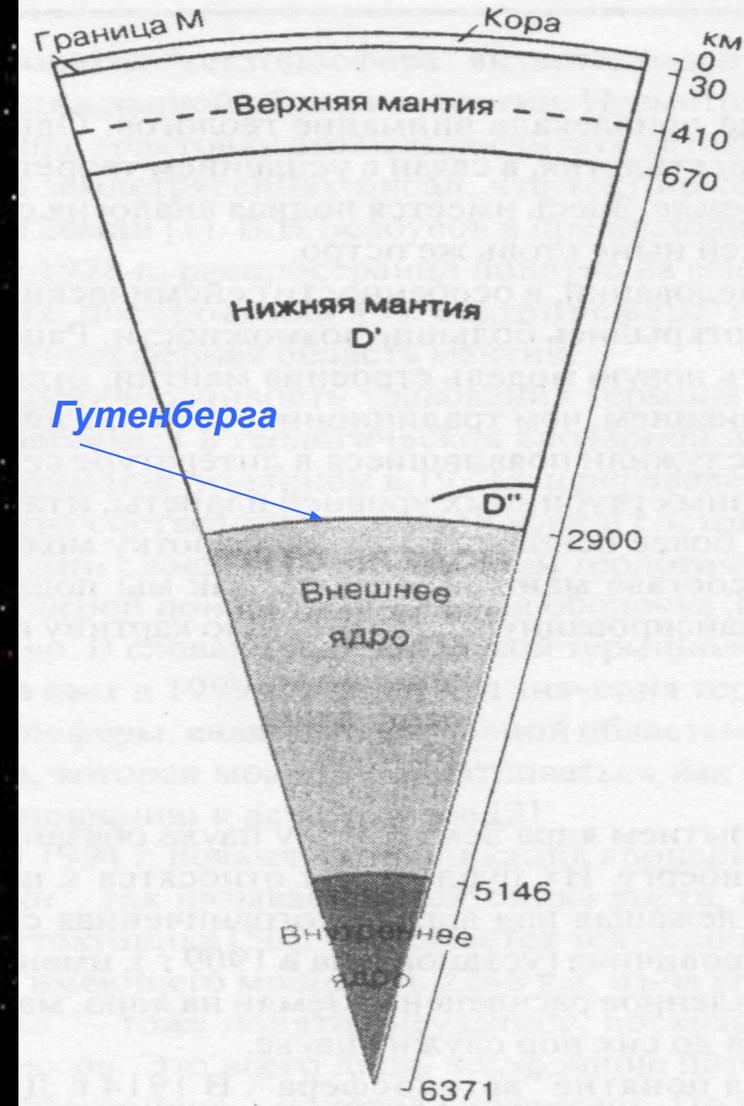
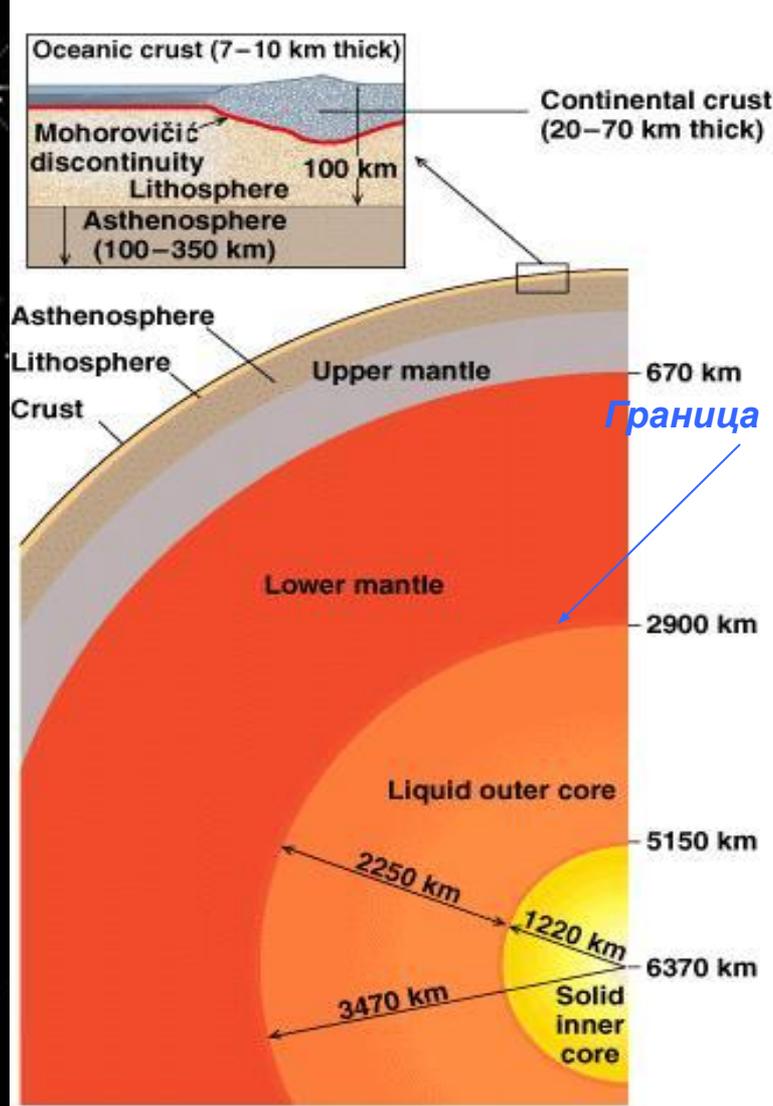


[http://www.math.montana.edu/~nmp/materials/ess/geosphere/expert/activities/planet\\_earth/globespin.gif](http://www.math.montana.edu/~nmp/materials/ess/geosphere/expert/activities/planet_earth/globespin.gif)

**Современная Земля сжата на 21 км  
вдоль оси своего вращения**

- Радиус полярный – 6357 км;
- Радиус экваториальный – 6378 км  
(в плоскости экватора наибольший и наименьший радиусы отличаются на 213 м);
- Степень сжатия планеты  
 $((R_{\text{экв}} - R_{\text{пол}}) / R_{\text{экв}}) = 1/298$
- Масса –  $5,98 \cdot 10^{27}$  г;
- Объем –  $1,08 \cdot 10^{27}$  см<sup>3</sup>;
- Плотность – 5,52 г/см<sup>3</sup>;
- Площадь – 510 млн. км<sup>2</sup>.

**Рис. 2.3. Основные параметры Земли (эллипсоида вращения)**



Традиционная схема глубинного строения, [20]

Подразделение мантии и ядра на отдельные оболочки обусловлено наличием дополнительных сейсмических границ

Рис. 2.4. Внутреннее строение Земли

| Глубина, км | Геосферы Земли | Глубина, км |           | Оболочки Земли  |                                | Температура, °С                | Давление, кбар | Плотность г/см <sup>3</sup> | Масса %                 | Объем % | 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<br>↓<br>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<br>↓<br>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 10<sup>5</sup> 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**

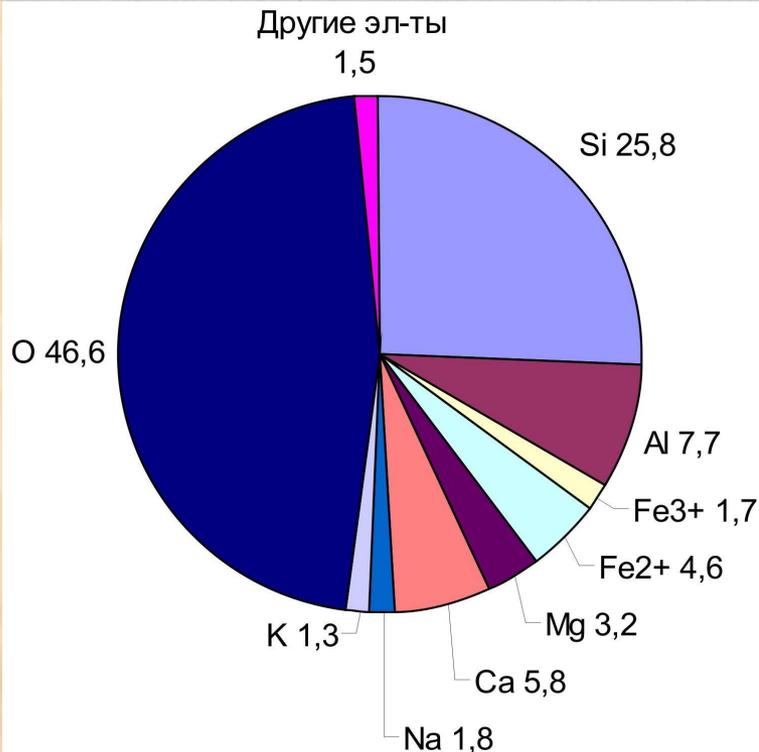
| Минералы                                    | По Г. Бергу | По А. Ферсману |
|---|-------------|----------------|
| Плагиоклаз                                  | 40,2        | 55             |
| Ортоклаз                                    | 17,7        |                |
| Мета- и ортосиликаты                        | 16,3        | 15             |
| Кварц и его разновидности                   | 12,6        | 12             |
| Вода в свободном и поглощенном виде         | —           | 9              |
| Магнетит и гематит                          | 3,7         | 3,0            |
| Слюды                                       | 3,3         | 3,0            |
| Кальцит                                     | 1,5         | 1,5            |
| Глины (глинистые минералы)                  | 1,0         | 1,5            |
| Лимонит и гидрогетит                        | 0,3         | 0,3            |
| Доломит                                     | 0,1         | 0,1            |
| Акцессорные минералы:<br>изверженных пород* | 2,5         | —              |
| осадочных пород**                           | 0,5         | —              |
| Фосфаты                                     | —           | 0,75           |
| Сульфиды                                    | —           | 0,3            |
| Хлориды                                     | —           | 0,3            |
| Фториды                                     | —           | 0,2            |

\* Пирит, халькопирит, апатит, гранат, титанит, циркон.

\*\* Пирит, пиролюзит, гранат, апатит, циркон.

| Порода  | Распространенность,<br>% общего объема<br>земной коры | Масса,<br>п.10 <sup>21</sup> , г |
|---|---|----------------------------------|
| Пески и песчаные породы   | 1,83  | 0,43                             |
| Глины, глинистые сланцы, кремнистые породы                                  | 4,48  | 1,14                             |
| Карбонаты   | 2,79  | 0,71                             |
| Соленосные отложения  | 0,09  | 0,02                             |
| Гранитоиды, гранитогнейсы, кислые эффузивы и их метаморфические эквиваленты | 20,86   | 5,68                             |
| Габбро, базальты и их метаморфические эквиваленты                           | 50,34   | 15,00                            |
| Дуниты, перидотиты, серпентиниты  | 0,07  | 0,02                             |
| Сиениты, нефелиновые сиениты  | 0,04  | 0,01                             |
| Метапесчаники   | 1,73  | 0,47                             |
| Парагнейсы и кристаллические сланцы   | 16,91   | 4,74                             |
| Метаморфизованные карбонатные породы  | 0,69  | 0,18                             |
| Железистые породы   | 0,17  | 0,06                             |
| С у м м а   | 100,00  | 28,46                            |

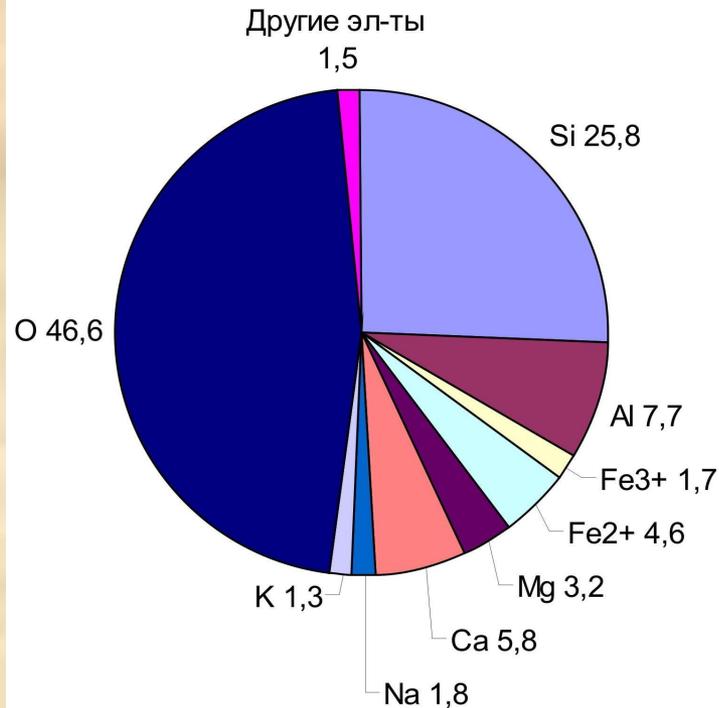
Примечание. Оценка распространенности и массы ультраосновных пород в земной коре, несомненно, занижена, поскольку пока нет возможности количественно учесть роль этих пород в строении нижних горизонтов коры континентов и океанов.



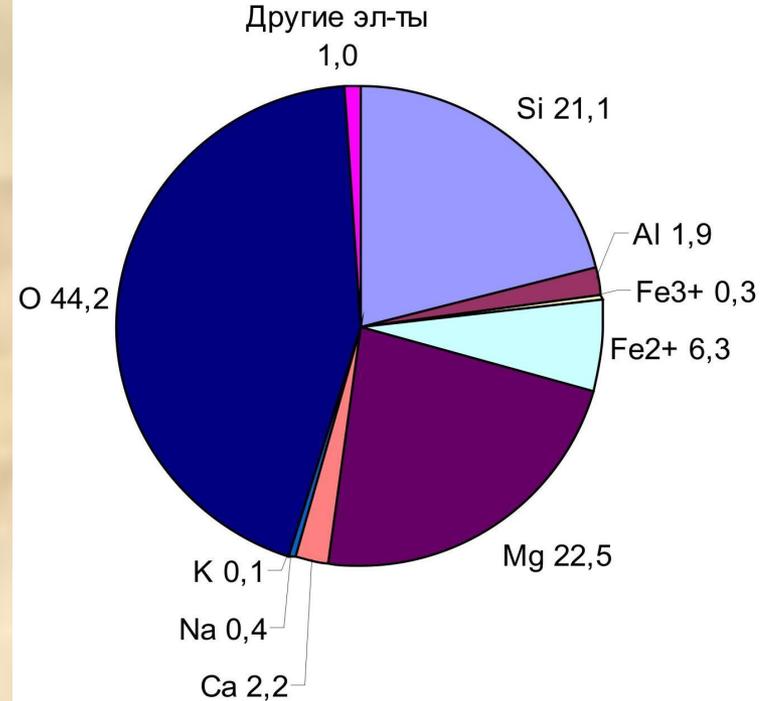
**Петрографический и химический составы – по данным А.Б. Ронова и А.А. Ярошевского**

**Резкое преобладание в составе коры кислорода и кремния обуславливает преобладающее распространение в ней минералов класса силикатов**

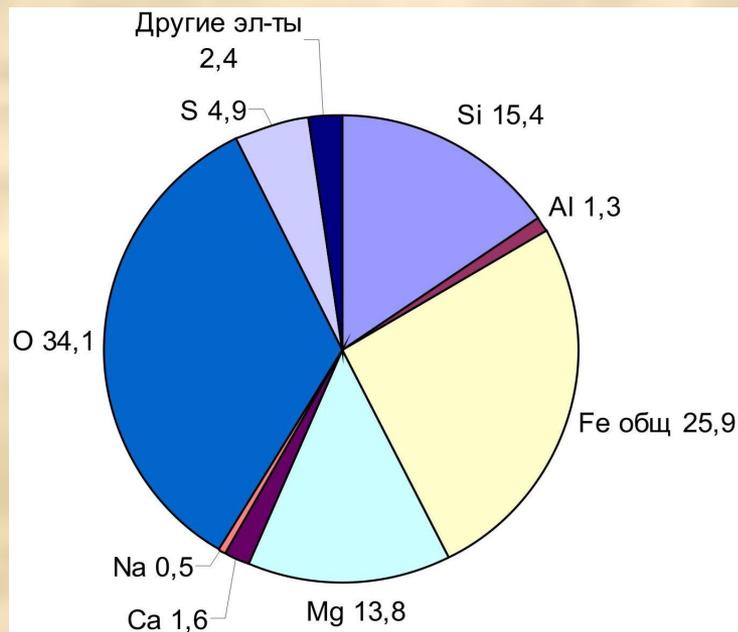
**Рис. 2.7. Минеральный и химический (в %) состав земной коры, [25]**



**Состав коры, по [25]**

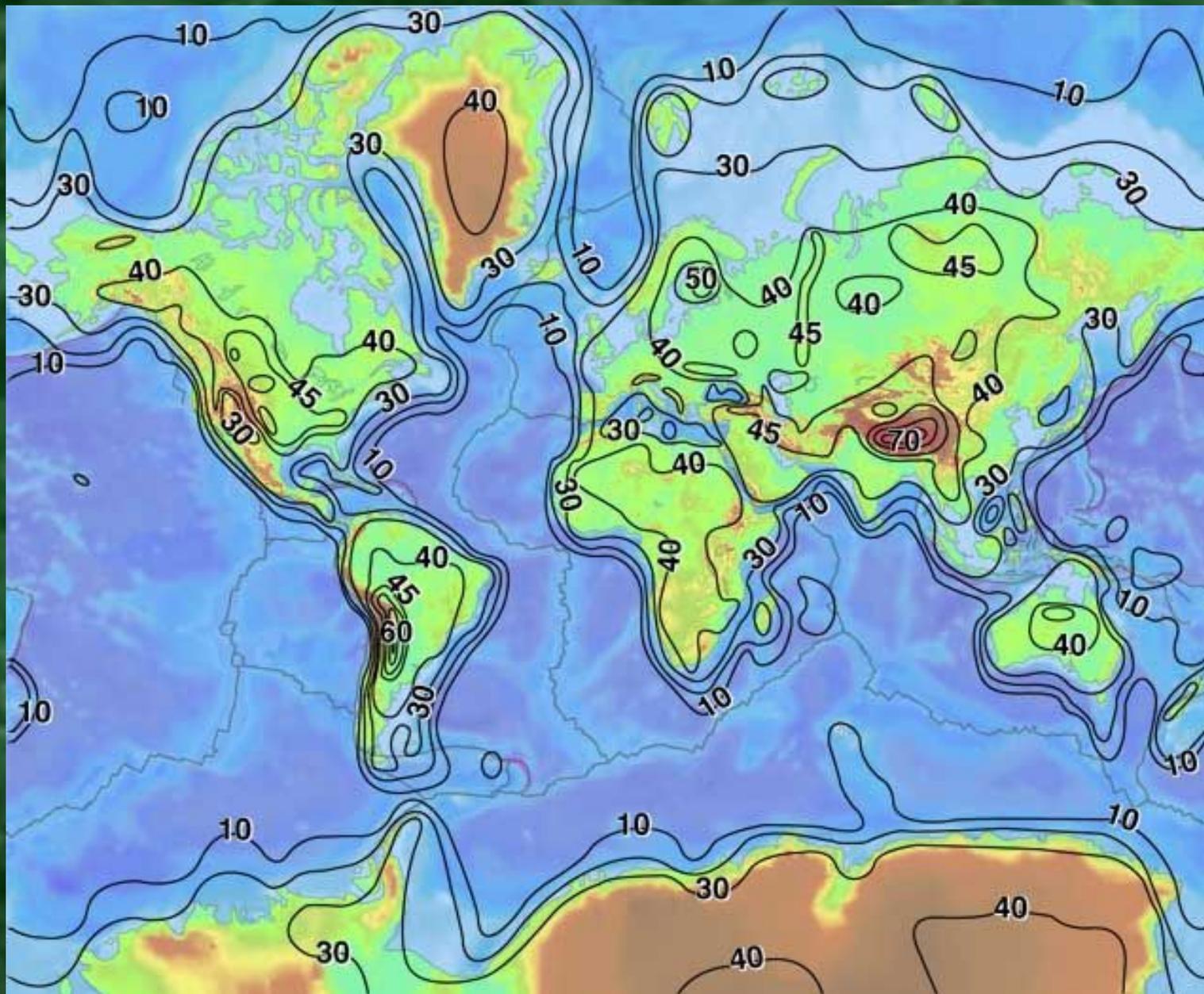


**Состав современной мантии по  
пиrolитовой модели А. Е. Рингвуда [23]**



**Состав углистых хондритов, по [24]**

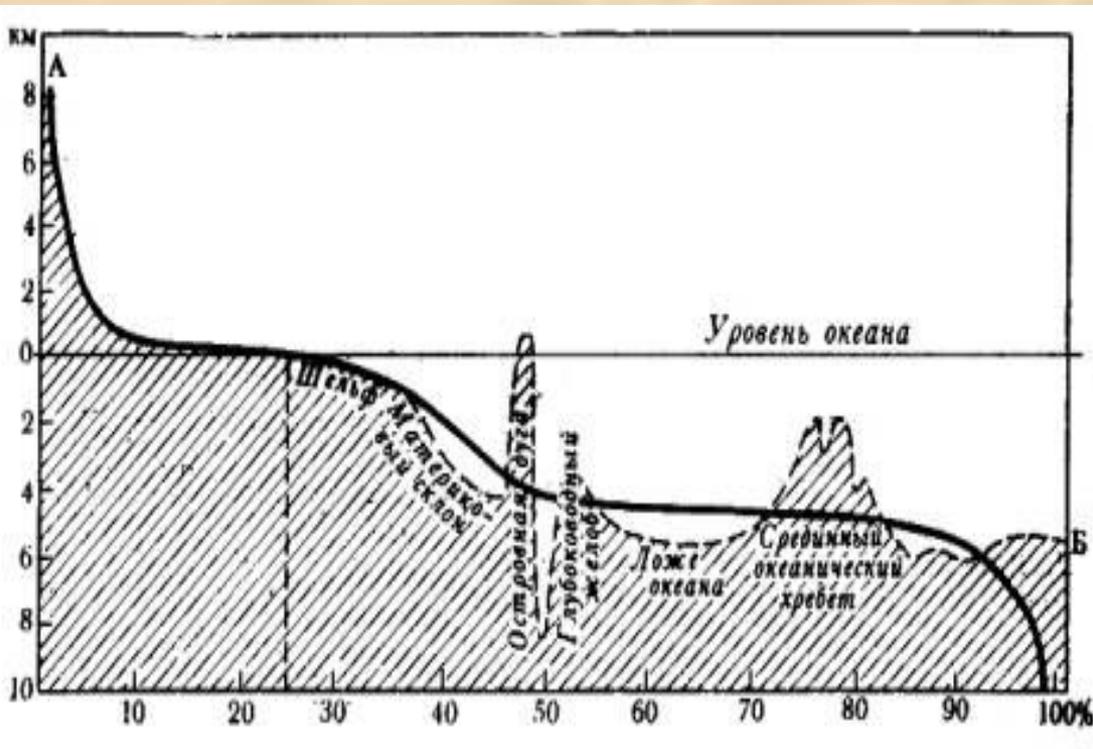
**Рис. 2.8. Сравнение хим. состава коры с составом мантийного и метеоритного вещества**



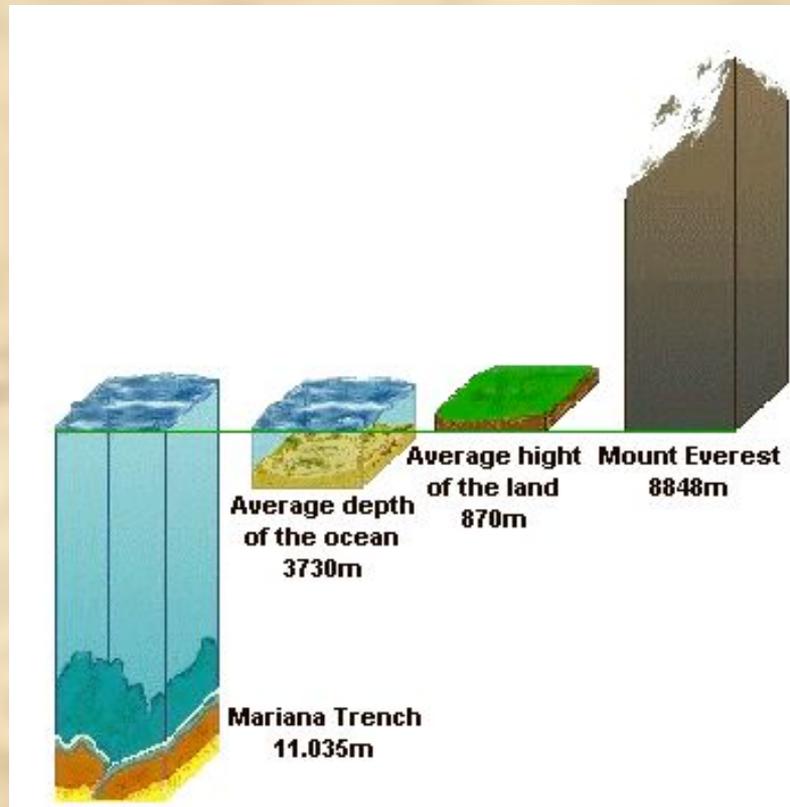
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Topo.jpg>

Карта наглядно отражает различие континентов и океанов по мощности коры

Рис. 2.9. Карта мощностей (км) земной коры



[http://www.bsu.ru/content/hecadem/turunhaev\\_av/cl\\_353/files/mzip\\_249\\_5694/tema2.1.jpg](http://www.bsu.ru/content/hecadem/turunhaev_av/cl_353/files/mzip_249_5694/tema2.1.jpg)



Гипсографическая кривая (А) и обобщенный профиль дна океана <http://www.earlham.edu/~rhoderu/depth&heightscale.gif>  
(Б)

Крайние и преобладающие высотные уровни поверхности твёрдой Земли

Гипсографическая кривая наглядно отражает два основных гипсометрических уровня земной поверхности: материковый (со средним высотным уровнем 870 м) и ложа Мирового океана (со средним высотным уровнем -3730 м)

Рис. 2.10. Гипсографическая кривая

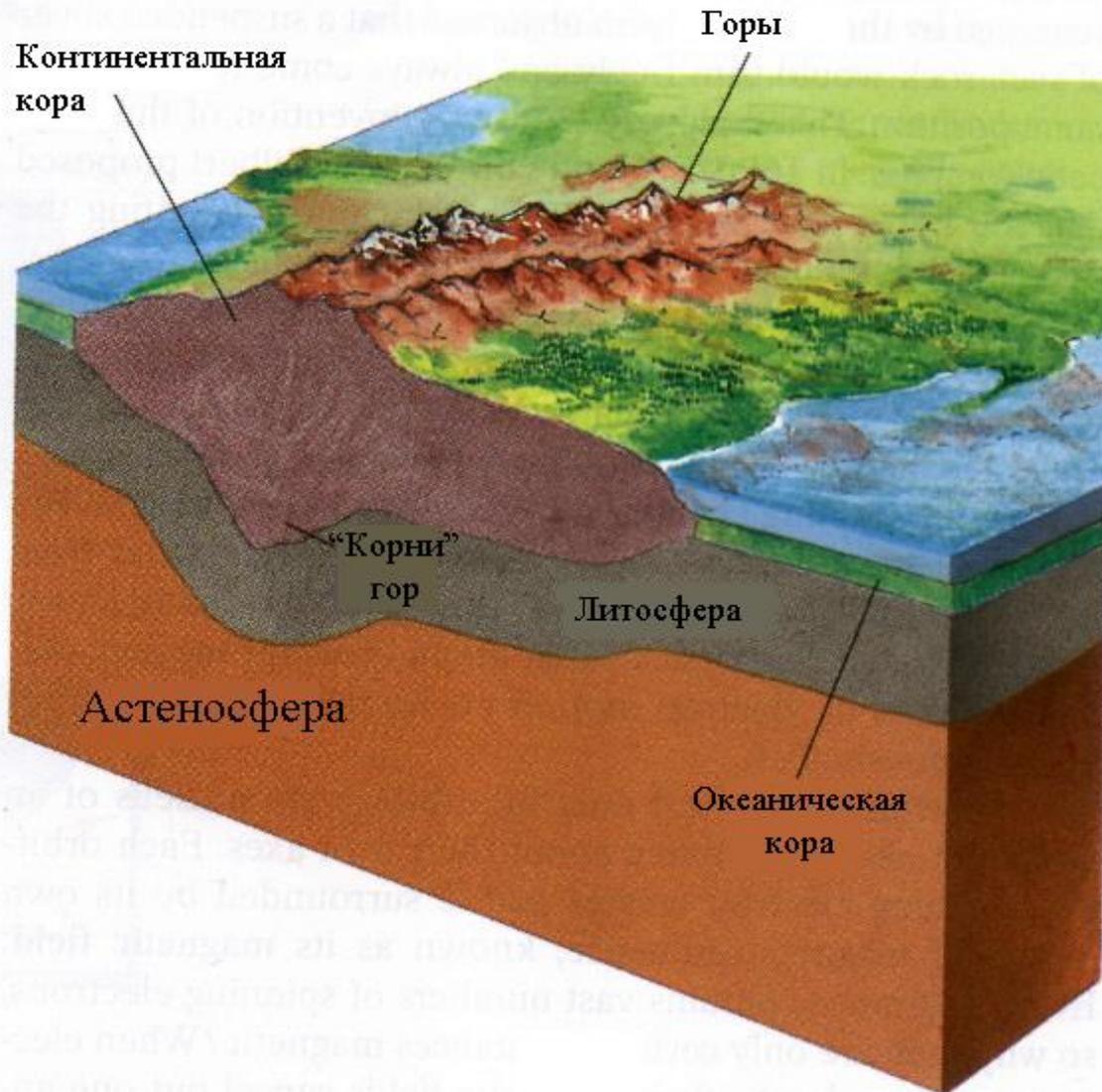
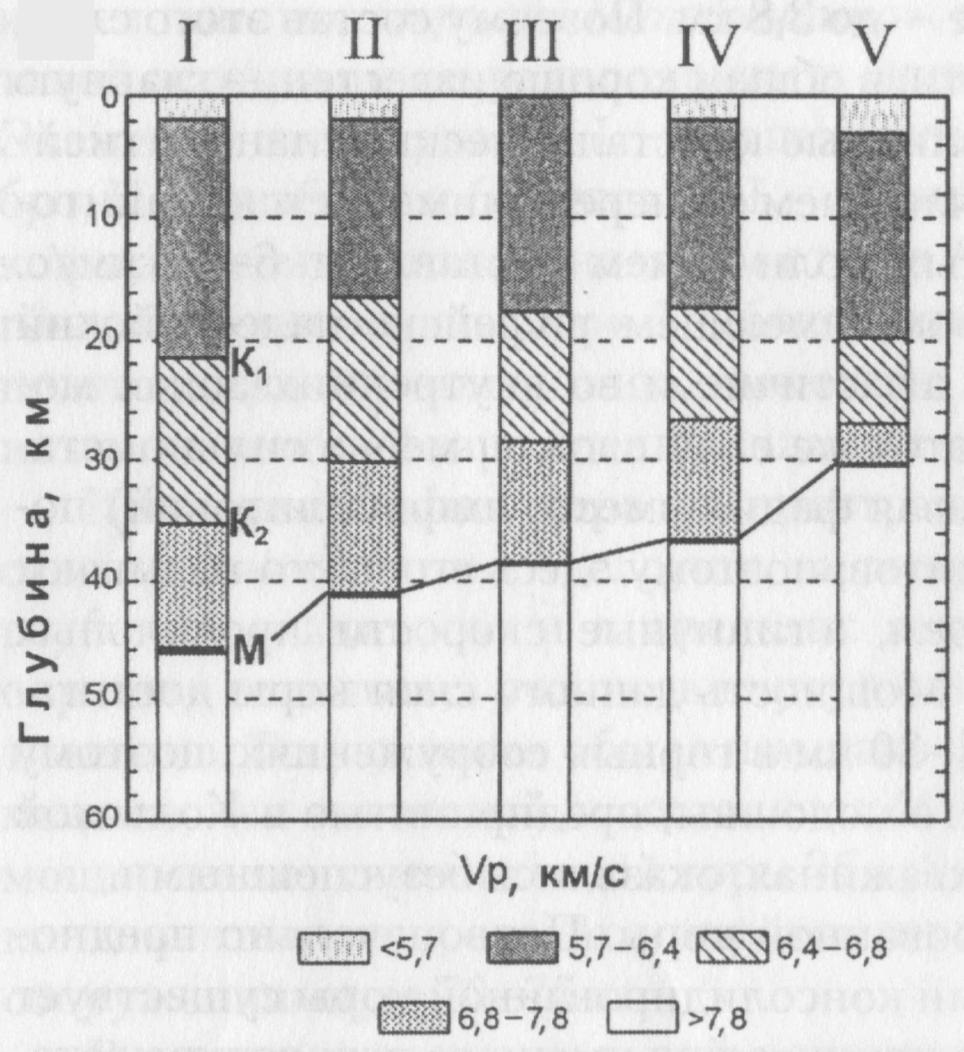


Рис. 2.11. Характер изменения мощности континентальной коры

| № слоёв | Наименование слоёв                                      | Мощность, км             | Скорость продольн. волн, км/с  | Состав вещества   | Возраст вещества                          |
|---------|---|--------------------------|--------------------------------|---|---|
| 1       | Осадочный   | $\frac{0-25}{3}$         | До 5,0                         | Различные осадочные породы иногда с покровами и силлами магматитов преимущественно основного состава  | PR <sub>2</sub> – Q<br>(до 1,7 млрд. лет) |
| 2       | Гранитный (гранито-гнейсовый, гранитно-метаморфический) | $\frac{8(10)-35}{15-20}$ | 5,0-6,5                        | Гранитоиды, кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты (метаморфические породы зеленосланцевой и амфиболитовой фаций, состав вещества – в основном по данным прямых наблюдений)                           | AR-Q                                      |
| 3       | Базальтовый (гранулит-базитовый)                        | $\frac{8(10)-40}{15-20}$ | 6,5-7,4<br>(иногда до 7,7-7,8) | Магматические и метаморфические (амфиболитовая и гранулитовая фации) породы преимущественно основного состава (состав вещества – в основном по геофизическим и экспериментальным, т.е. косвенным, данным) | AR-Q                                      |

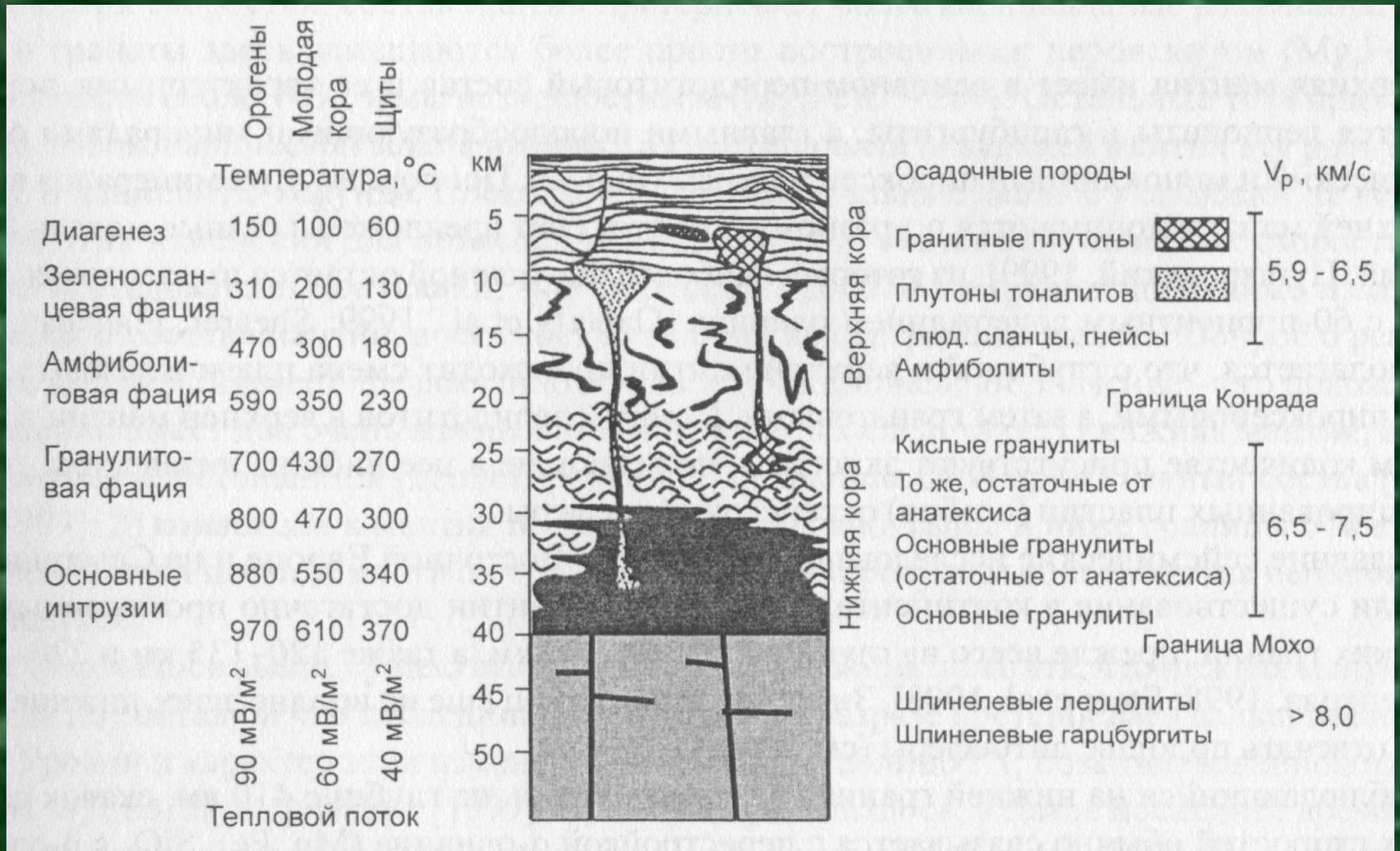
Примечание. Гранитный и базальтовый слои совместно называют консолидированной корой; граница между этими слоями – поверхность Конрада; в графе “Мощность” в числителе – предельные значения, в знаменателе – средние; при высокой (до 20-25 км) мощности осадочного слоя он подстилается материалом, скоростные свойства которого отвечают базальтовому слою, поэтому такую кору иногда относят к палеоокеанской; отнесение вещества со скоростями продольных волн 7,4-7,8 км/с к земной коре зачастую спорно, т.к. подобные скорости характерны и для разуплотненной (аномальной) мантии.

**Рис. 2.12. Строение, состав и скоростные характеристики континентальной коры**



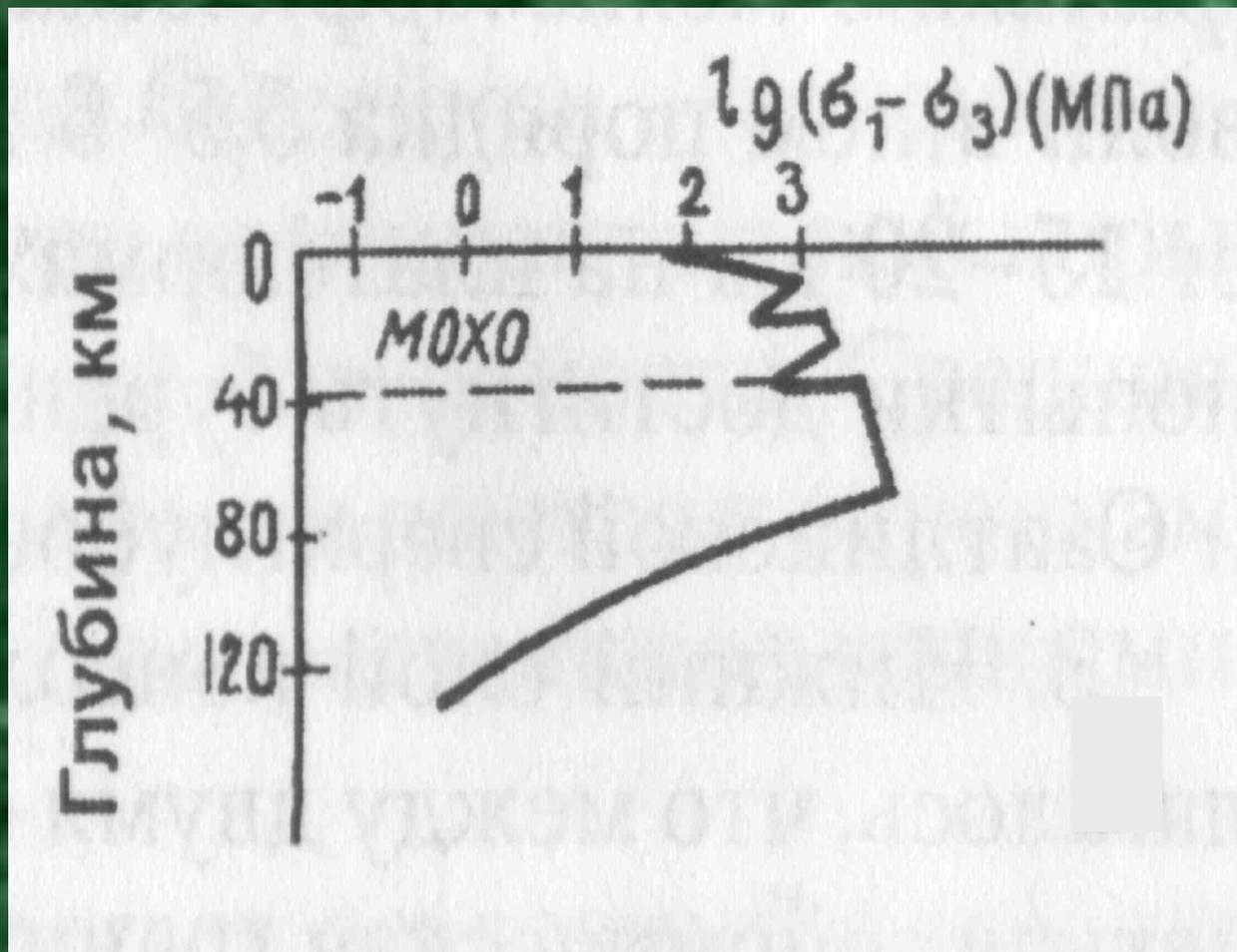
I–V – типы структур: I – орогены, II – древние платформы, III – островные (энсиалические) дуги, IV – континентальные рифты, V – растянутая континентальная кора; K1 и K2 – поверхности Конрада, M – поверхность Мохо; Vp – скорости продольных волн

Рис. 2.13. Четырёхслойные сейсмические разрезы континентальной коры по Н.И. Кристинсену и В.Д. Муню, 1995 [34]



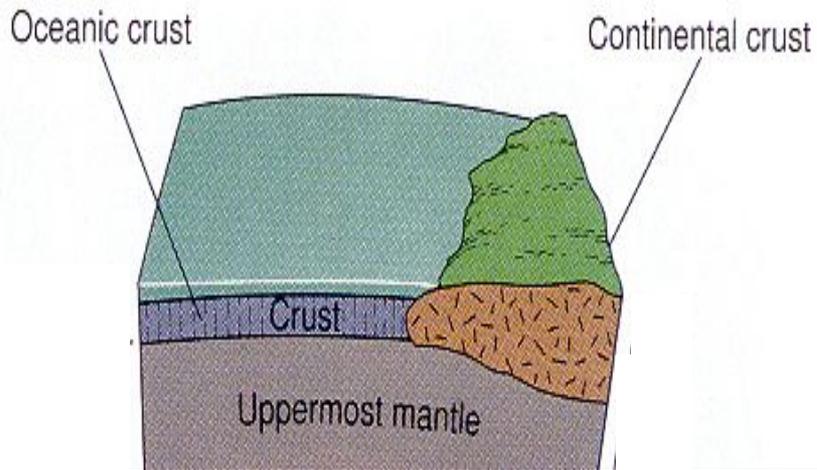
На рисунке отражены изменения с глубиной – вещественного состава, скоростей продольных волн, температур для трёх основных типов тектонических структур, а также отмечено положение сейсмических границ, метаморфических фаций, приведены величины тепловых потоков

**Рис. 2.14. Схематический профиль континентальной коры по Ведеполу, 1995 [14]**

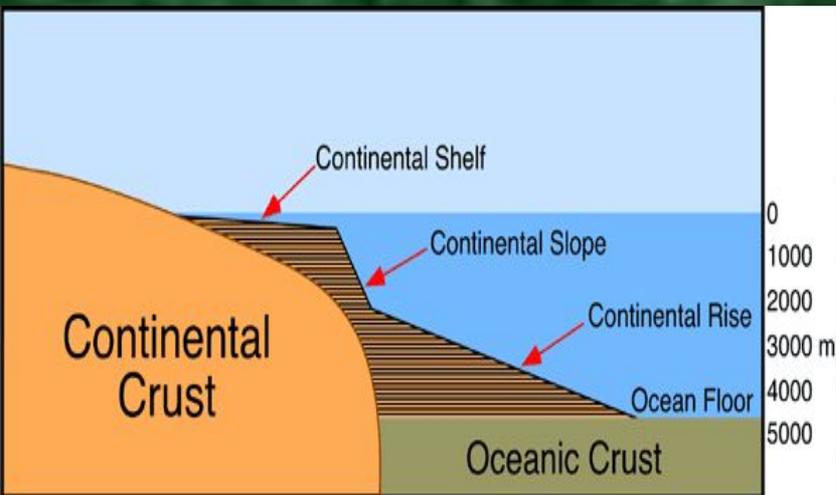


Два минимума прочности континентальной коры приходятся на основания гранитного и базальтового слоёв, резкое уменьшение этого параметра с глубинного уровня ~80 км приходится на астеносферный слой

**Рис. 2.15. Профиль обобщенной прочности континентальной литосферы, по Л. И. Лобковскому, 1990 [34]**



<http://www.eas.yorku.ca/veo/earth/image/1-3-01.JPG>



[http://www.eoearth.org/media/draft/8/88/Continental\\_margin\\_diagram.gif](http://www.eoearth.org/media/draft/8/88/Continental_margin_diagram.gif)

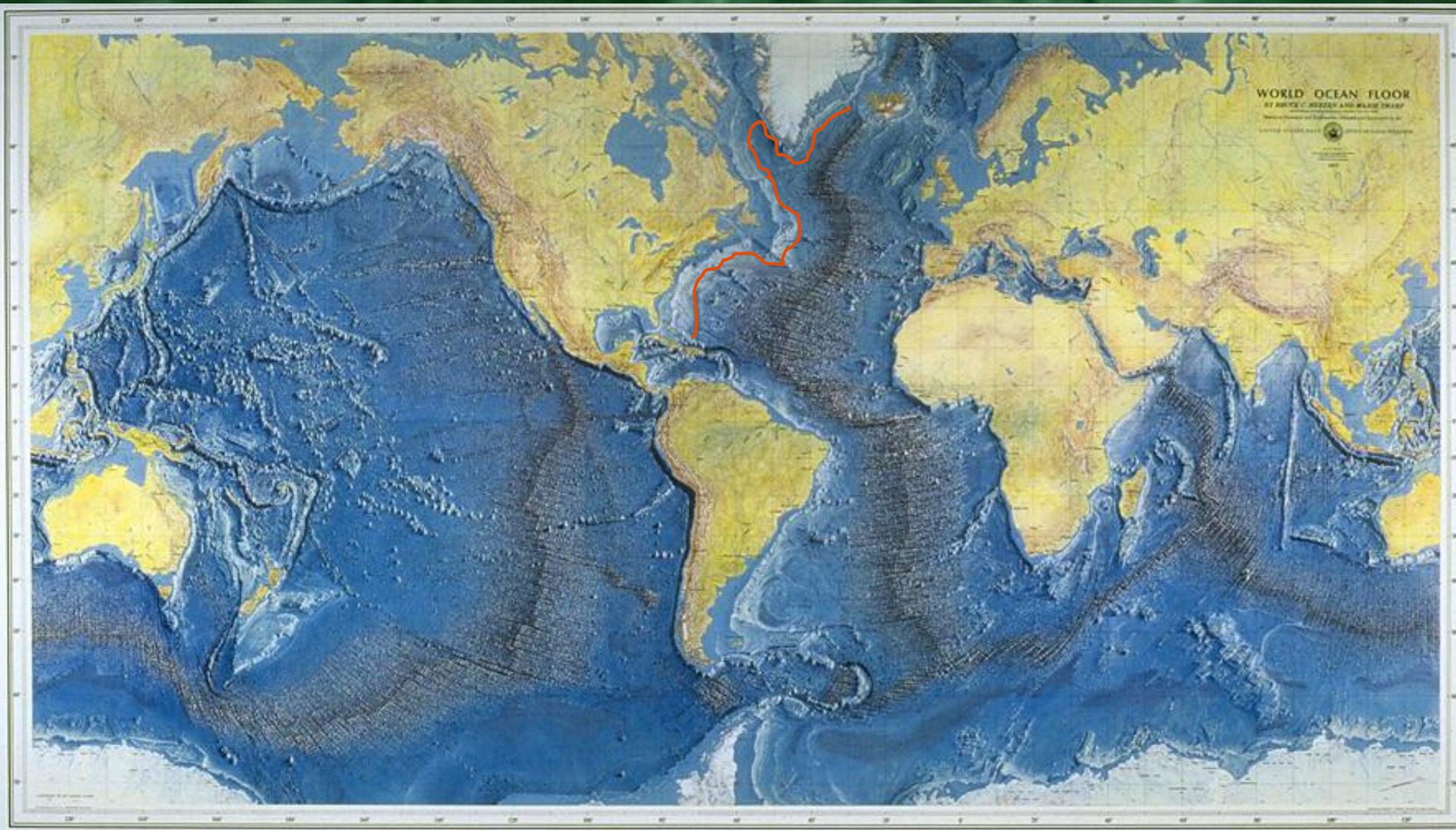


[http://hays.outcrop.org/images/lutge8e/Chapter\\_01/Text\\_Images/FG01\\_13.JPG](http://hays.outcrop.org/images/lutge8e/Chapter_01/Text_Images/FG01_13.JPG)

Положение границы двух типов коры

Шельф и континентальный склон по  
окраинам Атлантики

Рис. 2.17. Область сочленения континентальной коры с океанской



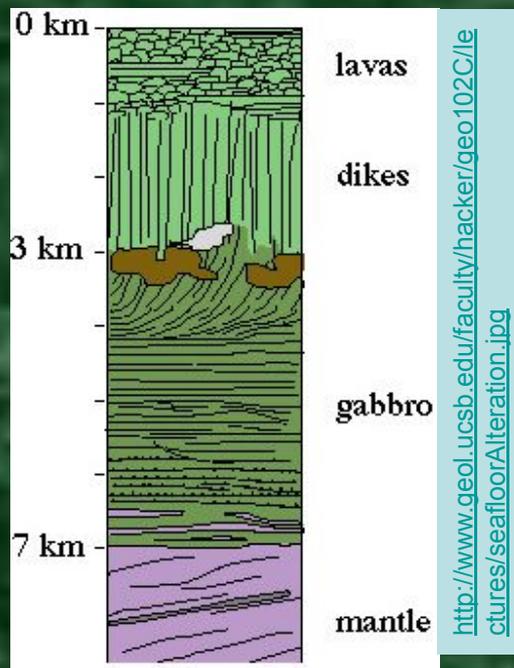
[http://www.columbia.edu/cu/news/06/08/images/HeezenTharp\\_900.jpg](http://www.columbia.edu/cu/news/06/08/images/HeezenTharp_900.jpg)

Граница проведена по подножью континентального склона (линия красного цвета)

**Рис. 2.18. Положение границы двух основных типов коры по восточному побережью Северо-Американского континента**

| № слоёв | Наименование слоёв                                      | Мощность, км           | Скорость продольн. волн, км/с | Состав вещества  | Возраст вещества                     |
|---------|---|------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------------|
| 1       | Осадочный   | $\frac{0-15}{0,6}$     | До 2,5                        | Разнообразные осадки с различной степенью уплотнения, в основании часто – металлоносные осадки   | J <sub>2</sub> – Q (до 170 млн. лет) |
| 2       | Базальтовый   | $\frac{1-15}{1,5-2,5}$ | 4,5-5,5                       | Покровы базальтов, в нижней части с дайками долеритов (комплекс параллельных даек или дайковый комплекс)   | J <sub>2</sub> – Q (до 170 млн. лет) |
| 3       | Габбро-серпентинитовый (третий слой, океанический слой) | $\frac{0-7}{4-5}$      | 6,0-7,5                       | В верхней части – габбро, в нижней – “полосчатый” (расслоенный) комплекс, представленный чередованием габбро с ультраосновными породами (лерцолитами, пироксенитами) часто серпентинизированными | J <sub>2</sub> – Q (до 170 млн. лет) |

Примечание. В графе “Мощность” в числителе – предельные значения, в знаменателе – преобладающие.

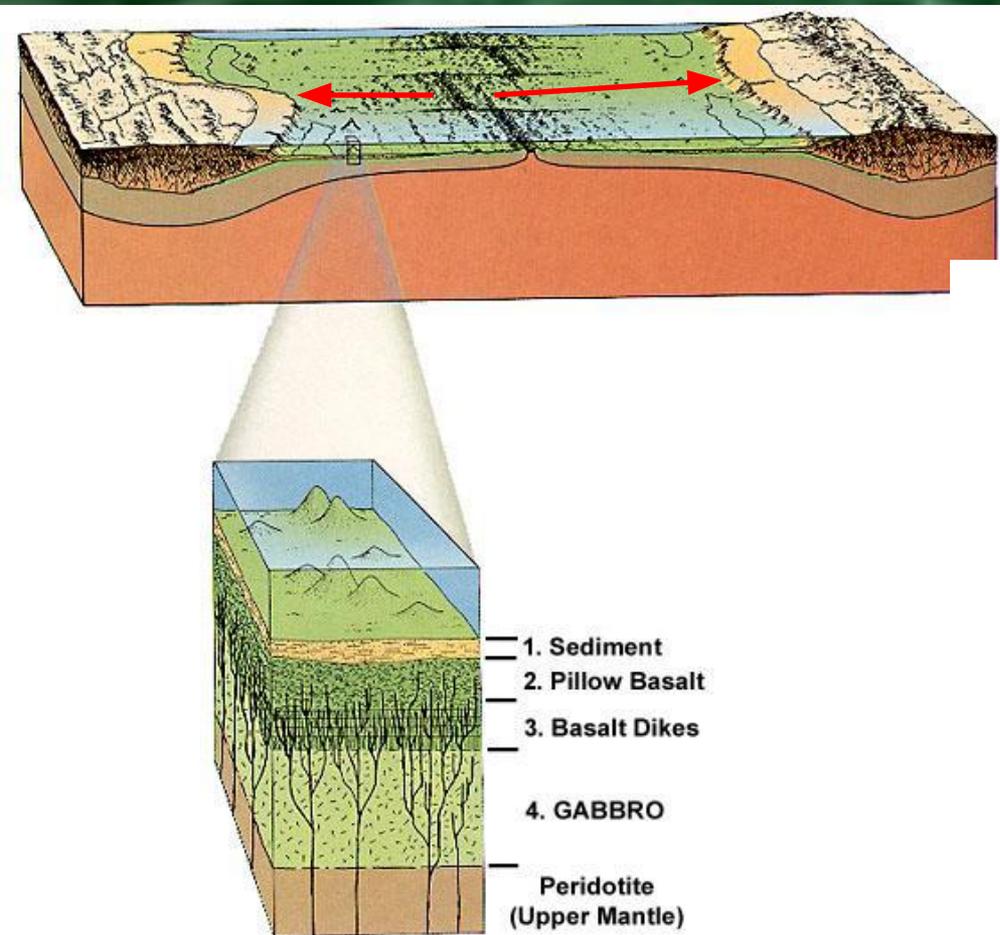


Базальты с подушечной отдельностью (пиллоу лавы) второго слоя

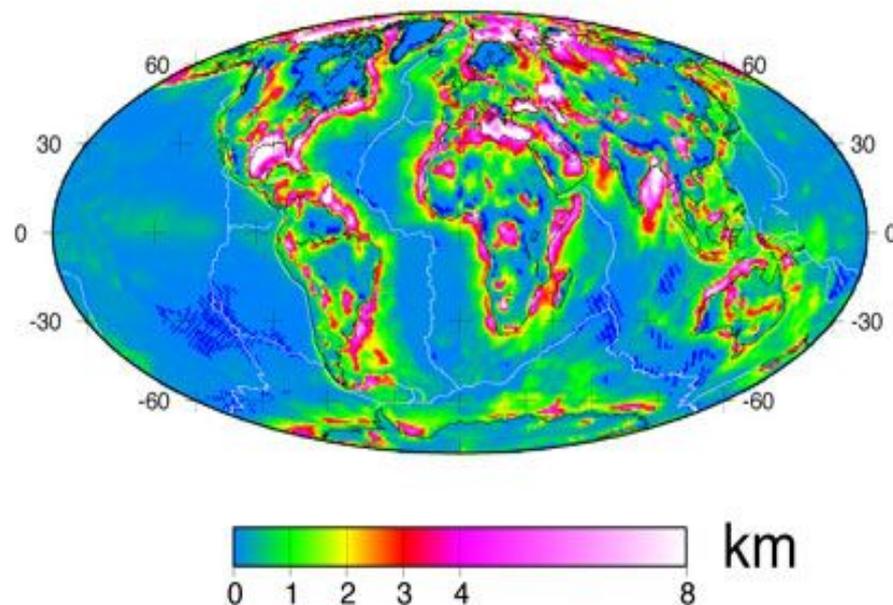


Fe-Mn конкреции основания первого слоя

Рис. 2.19. Строение океанского типа земной коры



## Sediment Thickness

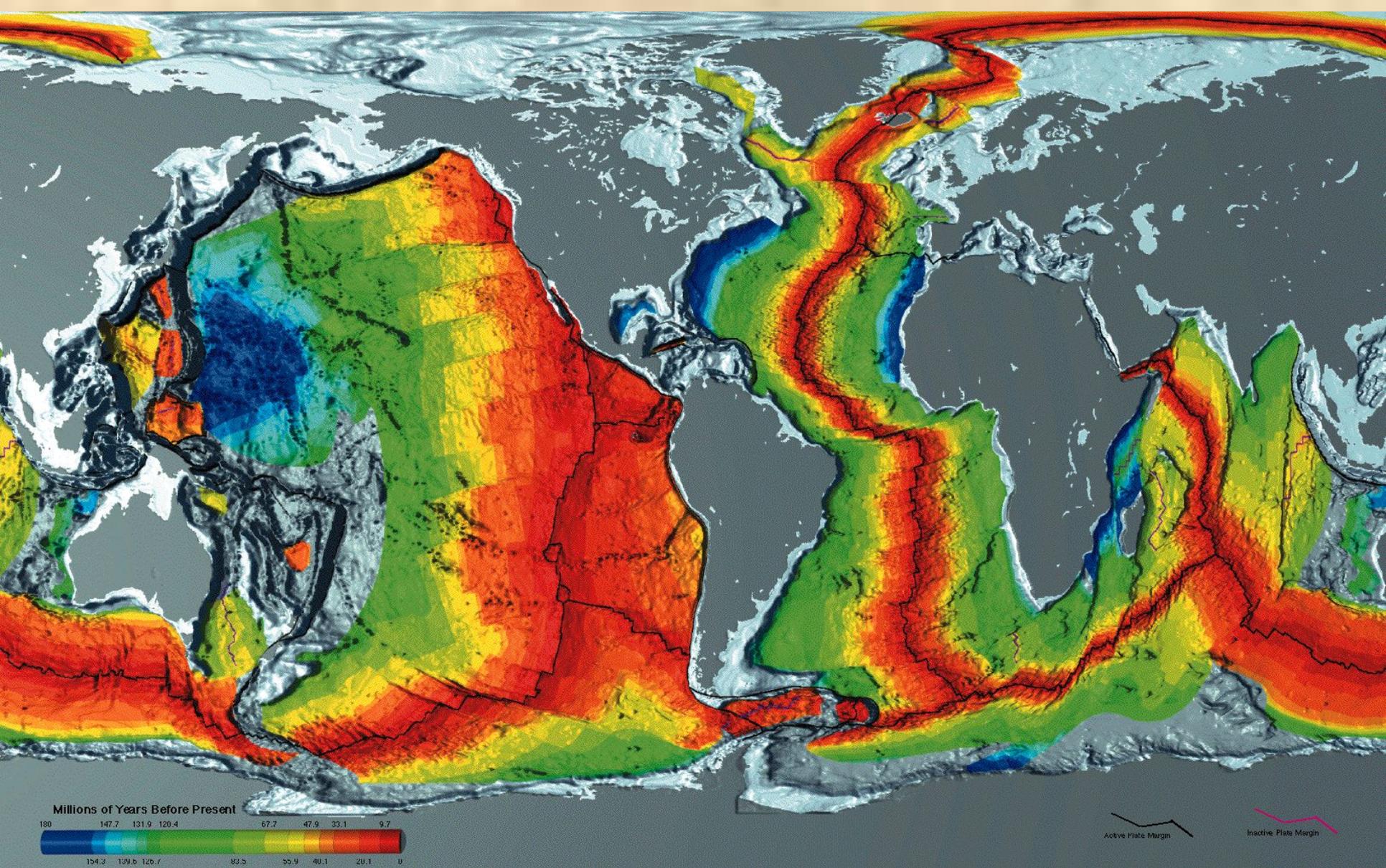


[http://www.indiana.edu/~g105lab/images/gaia\\_chapter\\_13/ocean\\_crust.jpg](http://www.indiana.edu/~g105lab/images/gaia_chapter_13/ocean_crust.jpg)

<http://kalahari.geology.gla.ac.uk/~rod/research/graphics/globalsedthk.jpg>

Направления увеличения мощности осадочного слоя (красные стрелки на верхнем рисунке)

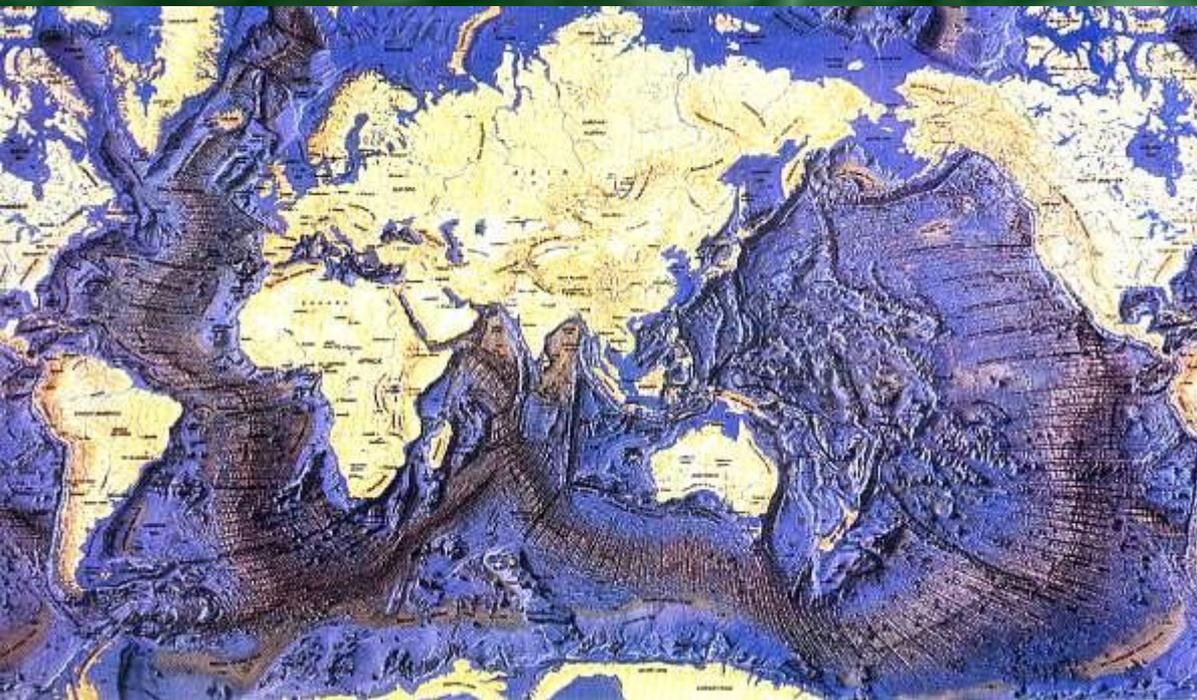
Рис. 2.20. Изменение мощности осадочного слоя океанской коры



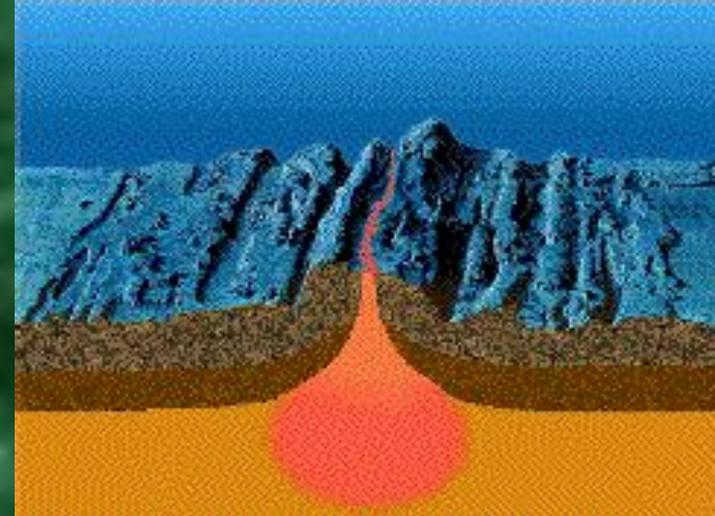
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Earth\\_seafloor\\_crust\\_age\\_1996.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Earth_seafloor_crust_age_1996.gif)

Рис. 2.22. Возраст коры океанского типа

## Расположение срединно-океанских хребтов



<http://www.seafriends.org.nz/niue/seafloor.jpg>



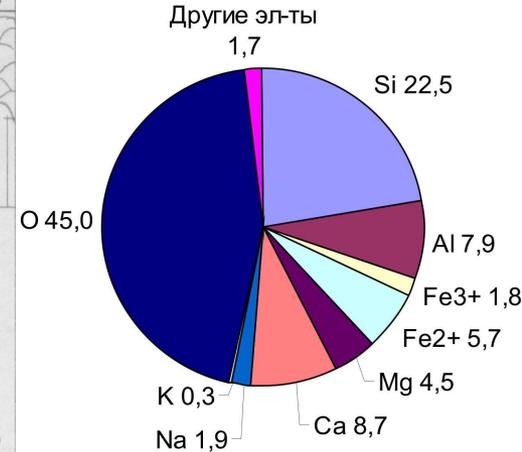
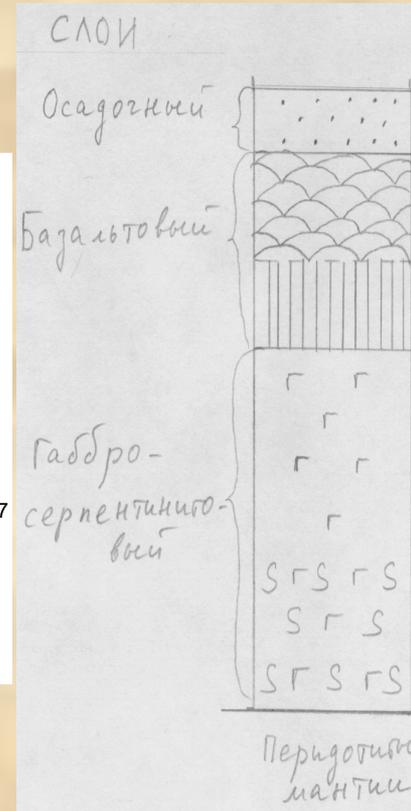
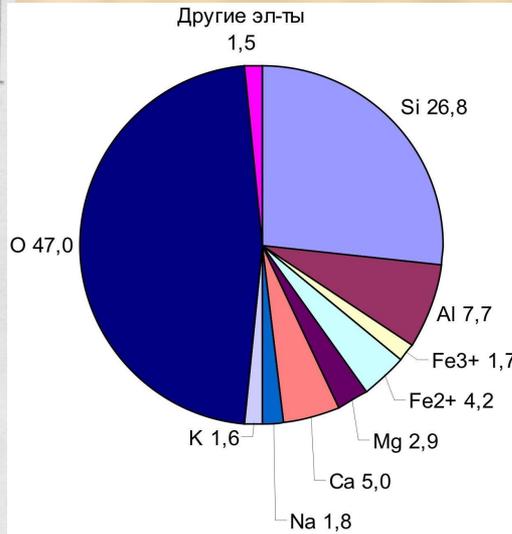
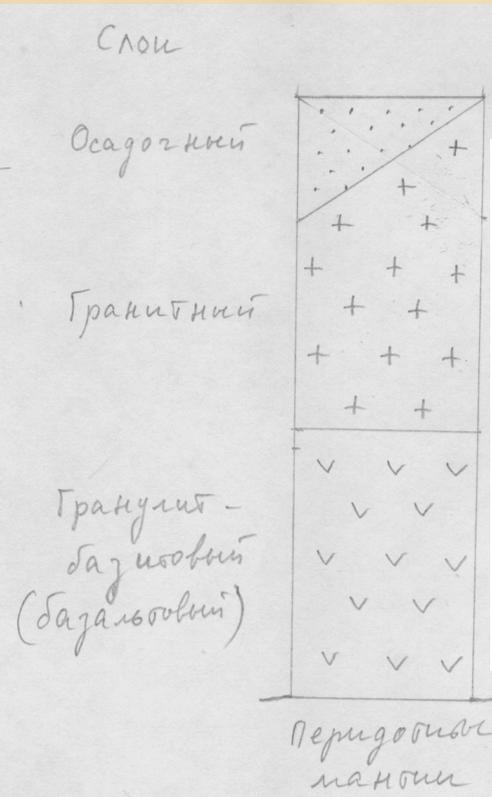
<http://wiki.web.ru/images/thumb/3/32/A48.gif/200px-A48.gif>

Происходит за счет кристаллизации мантийных расплавов базальтового состава в срединно-океанских хребтах

**Рис. 2.23. Формирование современной океанской коры**

## Континентальная кора

## Океанская кора



Средняя мощность – 35-40 км

Масса –  $18,1 \cdot 10^{24}$  г

Площадь развития – 41 % земной поверхности

Средняя мощность – 6-7 км

Масса –  $6,1 \cdot 10^{24}$  г

Площадь развития – 56 % земной поверхности

Химический состав и масса континентальной и океанской коры – по А. Б. Ронову и А. А. Ярошевскому [25], площадь распространения – по В. Е. Хаину [34]

Рис. 2.24. Различия двух основных типов земной коры