



# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего и профессионального образования

## Сибирский федеральный университет

Кафедра Геологии, минералогии и петрографии



Красноярск, 2008



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего и профессионального образования

**Сибирский федеральный университет**  
Кафедра Геологии, минералогии и петрографии

Звягина Елена Александровна, проф., к.г.-м.н.

## Общая геология

### Лекция 5. Общая геодезическая и геофизическая характеристика Земли

Институт Горного дела, геологии и геотехнологий

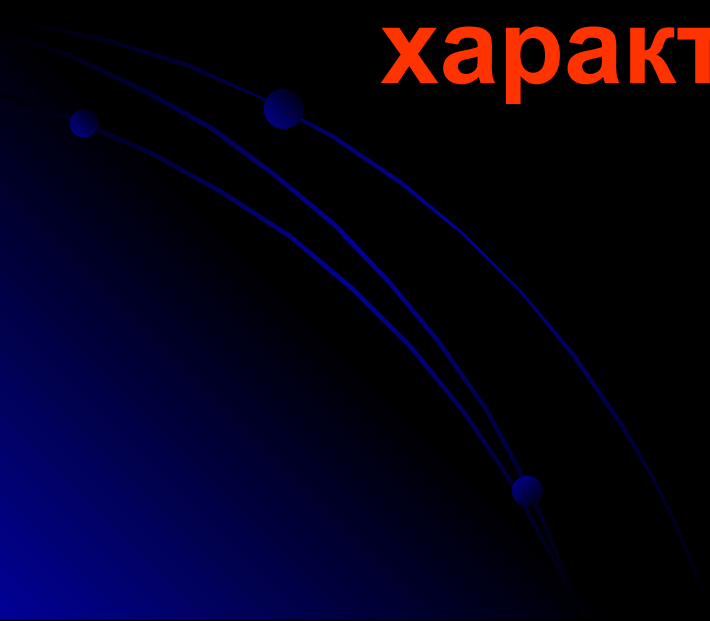
Направление: 130300 «Прикладная геология»

Специализации: 130301 «Геологическая съемка, поиски и разведка  
месторождений полезных ископаемых», 130304 «Геология нефти и  
газа», 130306 «Прикладная геохимия, петрология, минералогия »

Дата последнего изменения: 18.09.2008

**Лекция 5. Общая  
геодезическая и  
геофизическая  
характеристика Земли**

---



# План лекции

1. Общие параметры Земли. Форма и размеры Земли.
2. Рельеф и гипсографическая кривая поверхности Земли.
3. Масса и плотность Земли.
4. Теплота Земли. Вероятные источники внутренней теплоты Земли.
5. Физические поля Земли – гравитационные, магнитные, радиационные.
6. Зонально-сферическое строение (геосферы) Земли. Внутренние и внешние геосферы Земли.

# 1. Общие параметры Земли. Форма и размеры Земли

- Общая характеристика нашей планеты (по В.Н. Сальникову) может быть представлена в виде перечня следующих параметров:
- - экваториальный радиус (а) - 6378,16 км;
- - полярный радиус (с) - 6356,78 км;
- - сжатие планеты абсолютное (а-с) - 22 км;
- - площадь земной поверхности -  $5,10 \times 10^{18}$  см<sup>2</sup>;
- - объем планеты -  $1,083 \times 10^{27}$  см<sup>3</sup>;
- - масса -  $5,976 \times 10^{27}$  г;
- - средняя плотность 5,517 г/см<sup>3</sup>;
- - масса атмосферы -  $5,1 \times 10^{21}$  г;
- - масса гидросферы -  $1,4 \times 10^{24}$  г;
- - масса земной коры -  $2,4 \times 10^{25}$  г;
- - масса мантии -  $4,1 \times 10^{27}$  г;
- - масса ядра Земли -  $1,9 \times 10^{27}$  г;
- - давление в центре планеты - 3657 кбар;
- - температура в центре планеты - 4000-6000<sup>0</sup>С ;
- - средний радиус орбиты -  $1,496 \times 10^8$  км;
- - скорость движения по орбите - 29,77 км/с.

# Земля



## Земля в цифрах: <sup>1</sup>

Масса:	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг.
Диаметр экватора:	12 756 км.
Плотность	$5,52 \cdot 10$ г/см <sup>3</sup> .
Температура поверхности:	от -96                      +70°C
Длительность звёздных суток:	23,56 часа
Расстояние от Солнца (среднее):	1 а.е. (149,6 млн км).
Наклон экватора к орбите:	23°27'
Эксцентриситет орбиты:	0,017
Долгота восходящего узла:	102°31'
Период обращения по орбите (год):	365,25 дней
Средняя скорость движения по орбите:	29,77 км/сек



# Луна<sup>1</sup>



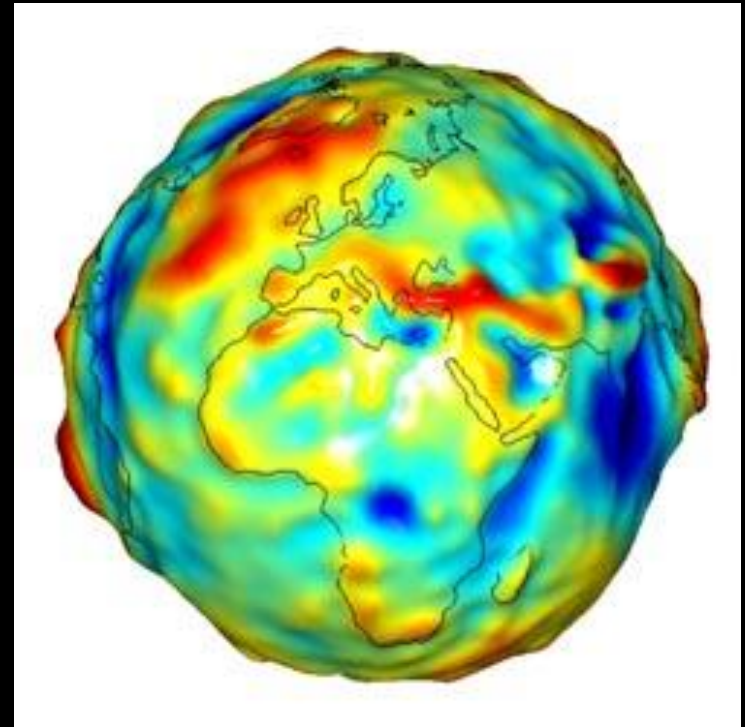
## Луна в цифрах:

Масса:  $\approx 0,0123$  массы Земли,  
то есть  $5,35 \cdot 10^{22}$  кг.  
Диаметр экватора  $\approx 0,273$  диаметра Земли,  
то есть 3476 км.  
Плотность:  $3,342 \cdot 10$  г/см<sup>3</sup>.  
Сила тяготения на поверхности:  $\approx 0,1653$   
силы тяготения на поверхности Земли.

# Форма Земли. Геоид

- Под геоидом понимают уровненную поверхность, всюду перпендикулярную к действительному направлению отвеса, т.е. силы тяжести. Она совпадает с зеркалом воды в океанах и морях (в состоянии покоя). Под материками она представляет как бы мысленное продолжение поверхности океана. Эта фигура, поверхность которой на суше выше поверхности эллипсоида на несколько десятков метров, а в океанах на столько же ниже.
- На практике спутники не вычисляют форму геоида, а измеряют аномалии гравитационного поля Земли. Синим цветом обозначены области с отрицательной аномалией, там геоид уходит вниз; красным — с положительной аномалией, там геоид поднимается над сферой .

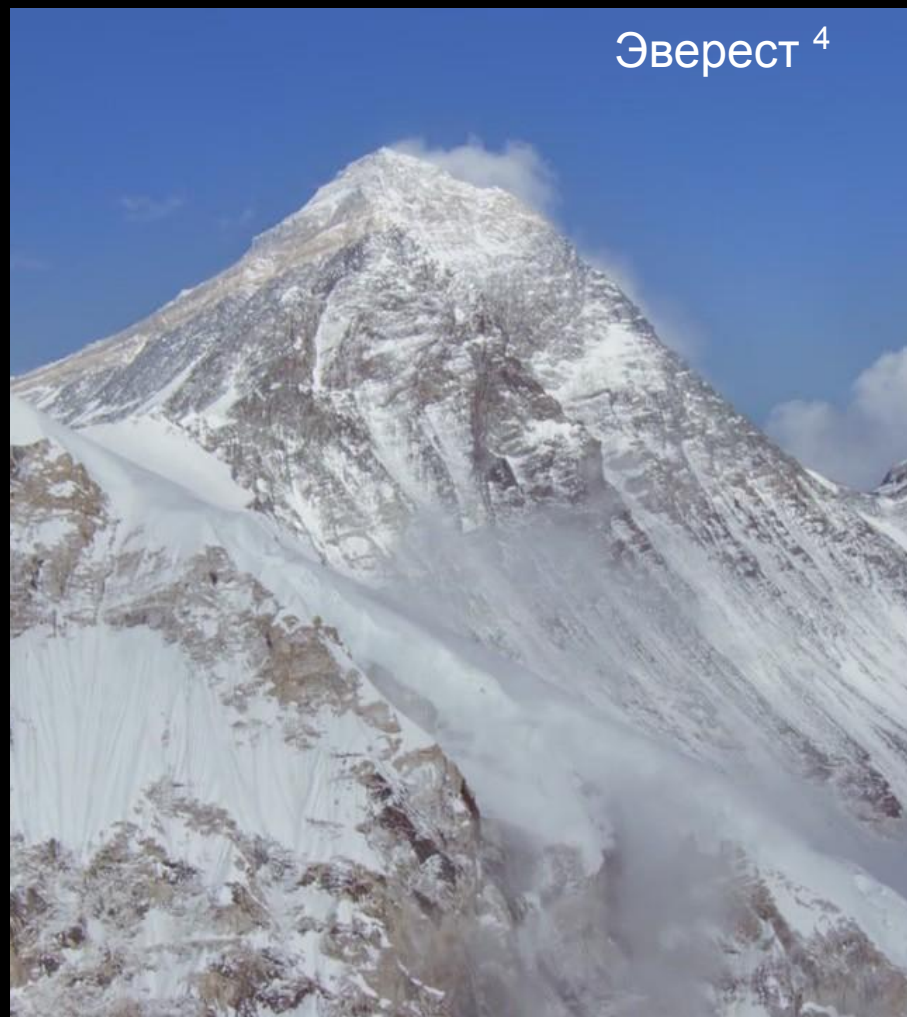
- Карта The University of Texas Center for Space Research, JPL/NASA





# Рельеф и гипсографическая кривая поверхности Земли

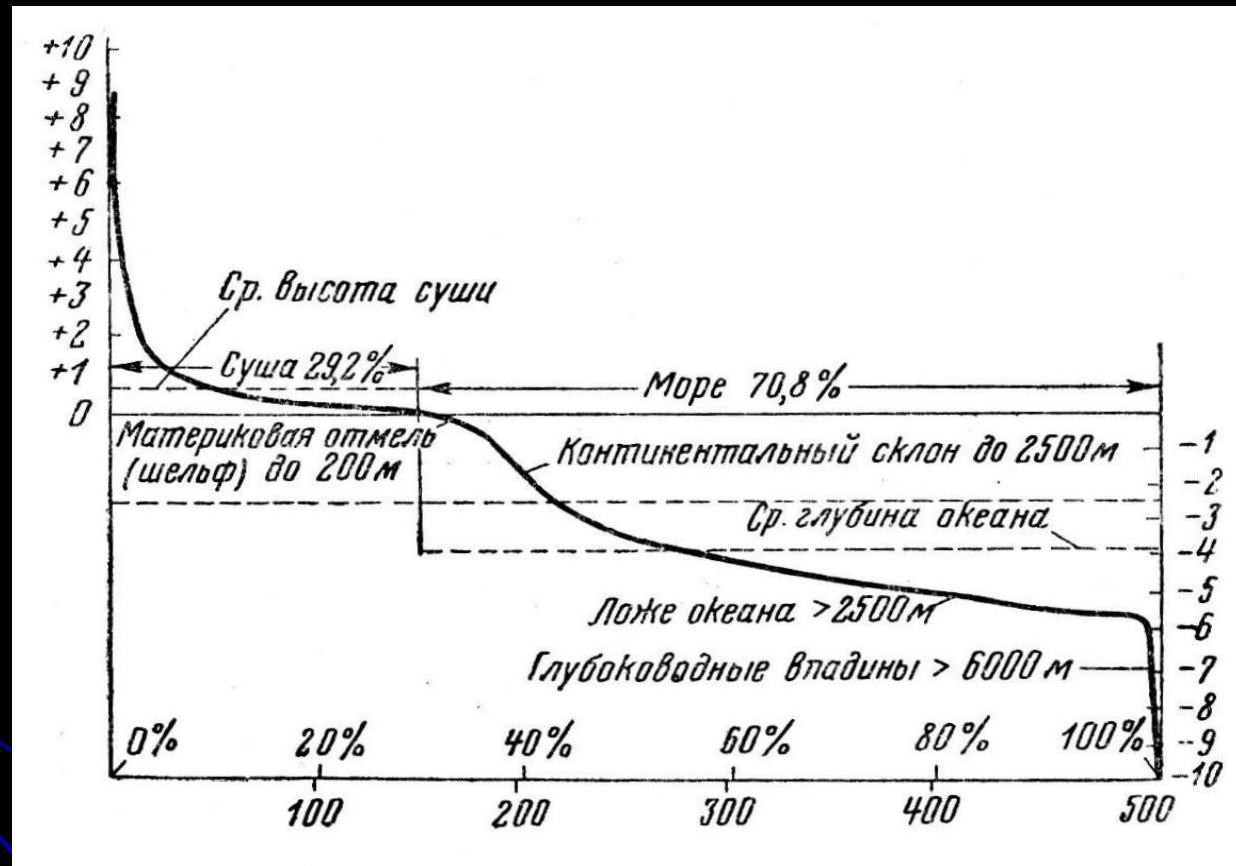
- На суше преобладают высоты менее 1000 м (75 % площади), а в океане глубины от 3000 до 6000 м. Средняя высота материков 850 м, средняя глубина океанов 3800 м. Возвышенности на материках располагаются в виде 2-х поясов: один приурочен к Тихоокеанскому побережью и включает горы Восточно-Азиатских островов, Кордильеры, Анды, Антарктические Анды. Самая высокая гора этого пояса – Аконкагуа – высота 6960 м.
- Второй пояс включает: Пиренеи, Атлас, Альпы, Апеннины, Балканы, Кавказ, Памир, Гималаи, горные цепи Индокитая и Малайского архипелага. Наивысшая вершина этого пояса – Эверест (8844,43 [1]8844,43 [1] или 8848 [2]8844,43 [1] или 8848 [2] или 8850 м [3].)





## Анды<sup>4</sup>

## Гипсографическая кривая



По горизонтальной оси: цифры снизу — площадь земной поверхности в сотнях миллионов квадратных километров; сверху — проценты площади высотных ступеней; по вертикальной оси — высоты в километрах.

(Из работы Г.П. Горшкова, А.Ф. Якушовой, 1962).

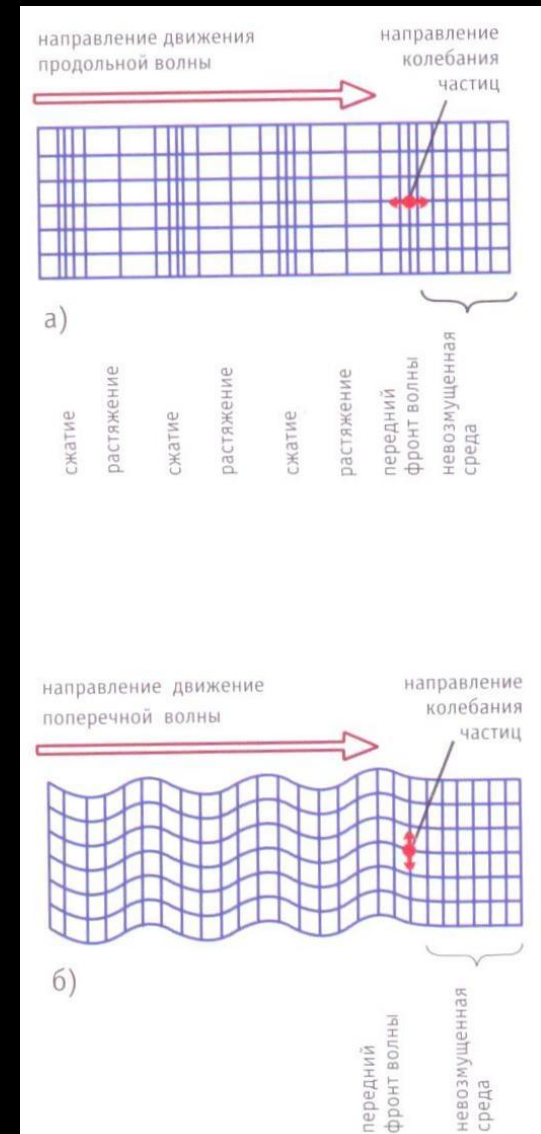


# Сейсмические методы изучения физических параметров и внутреннего строения Земли

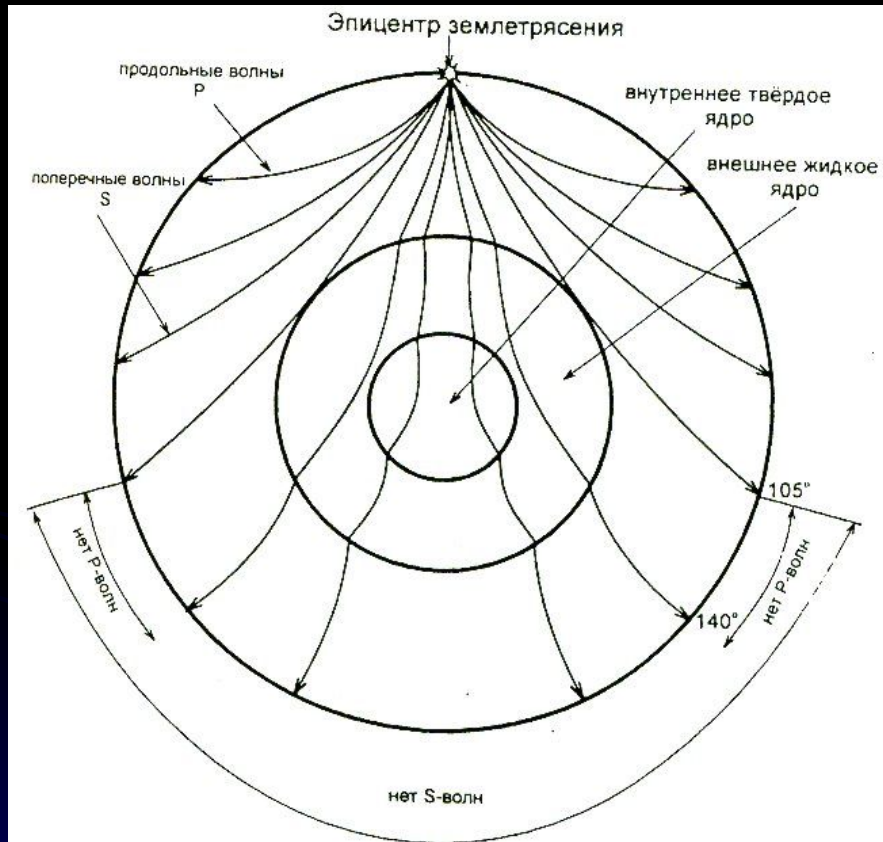
Выделяют продольные, поперечные и поверхностные сейсмические волны.

- **Продольные волны.** В них частицы материи колеблются в направлении движения волны (вдоль сейсмического луча). При этом создаются участки сжатия и растяжения, распространяющиеся во все стороны от очага землетрясения. Такие волны можно рассматривать как реакцию среды на внезапное изменение объема, а т.к. изменению объема сопротивляются все агрегатные состояния вещества, то продольные волны могут распространяться в твердых, жидких и газообразных средах. Продольные волны распространяются быстрее других и первыми доходят до места наблюдения.
- **Поперечные волны.** Частицы материи колеблются в плоскости перпендикулярно к направлению сейсмического луча. Эти волны представляют собой реакцию среды на изменение формы и поэтому могут распространяться только в твердых телах (жидкости и газы изменениям формы не сопротивляются). Поперечные волны распространяются медленнее продольных волн и доходят до поверхности вторыми.
- **Поверхностные волны** могут возникать только у свободной поверхности упругой среды (например, у поверхности раздела Земля – воздух) и быстро затухают по мере удаления от этой поверхности.

Лекция 5. Общая  
геодезическая и



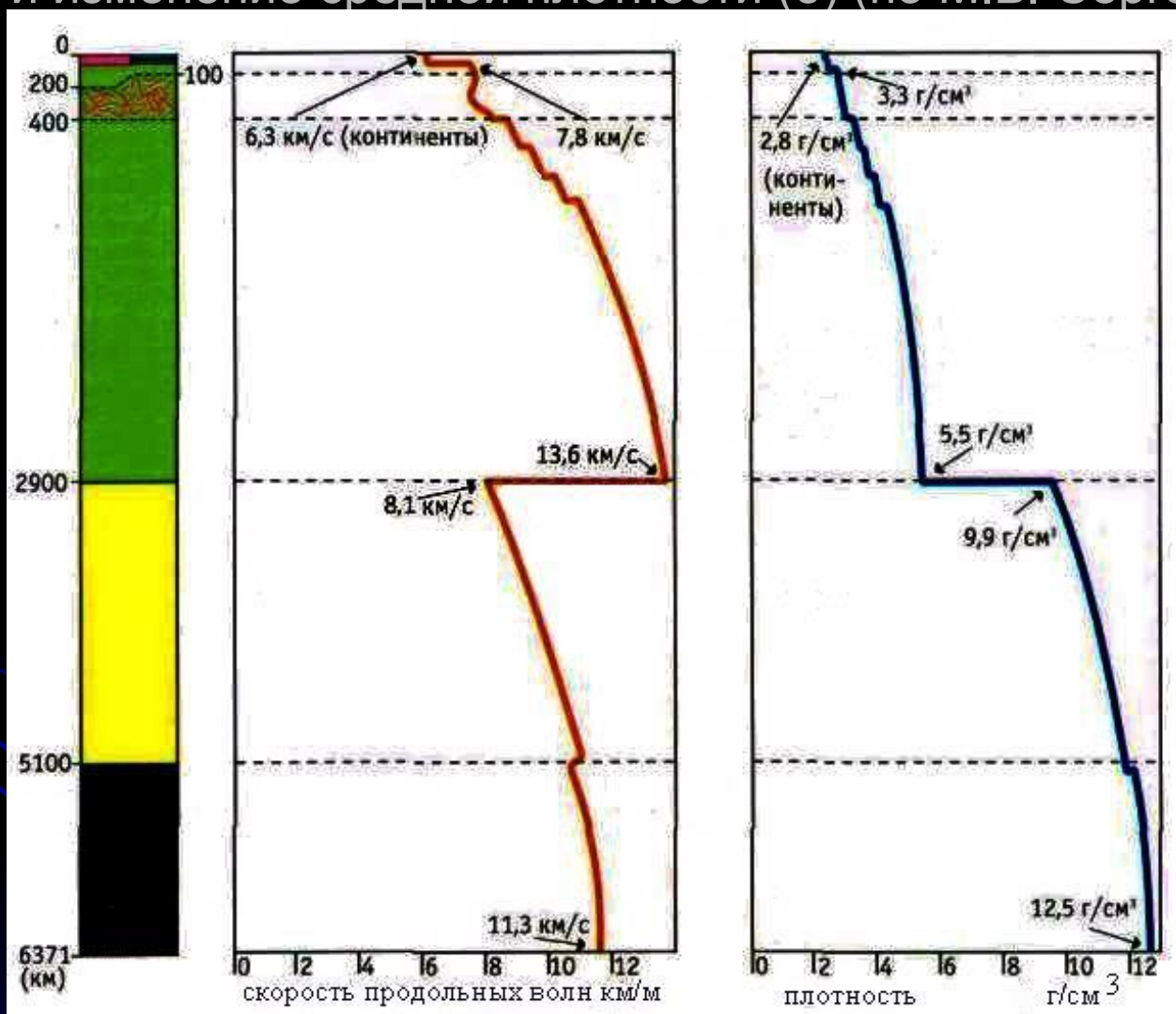
# Прохождение продольных (P) и поперечных (S) волн через Землю



- Поперечные волны не проходят через жидкое внешнее ядро, а у продольных есть «зона тени» в  $35^\circ$ , так как в жидком ядре волны преломляются (Н.В. Короновский, 2002)

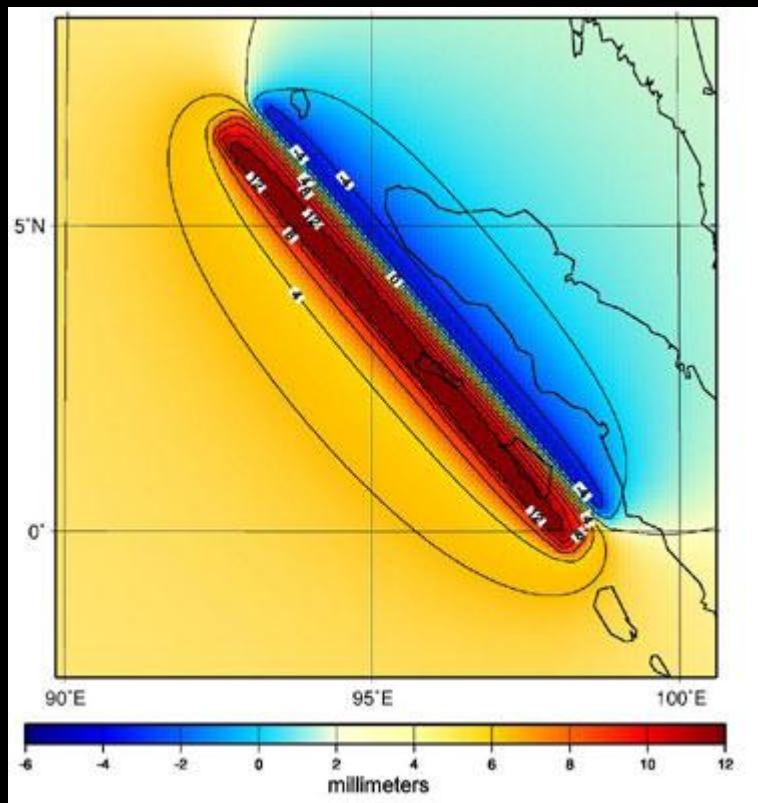


Характер распространения сейсмических волн (а) через геосферы Земли и изменение средней плотности (б) (по М.Б. Сергееву, 2000)



# Гравитационное поле Земли

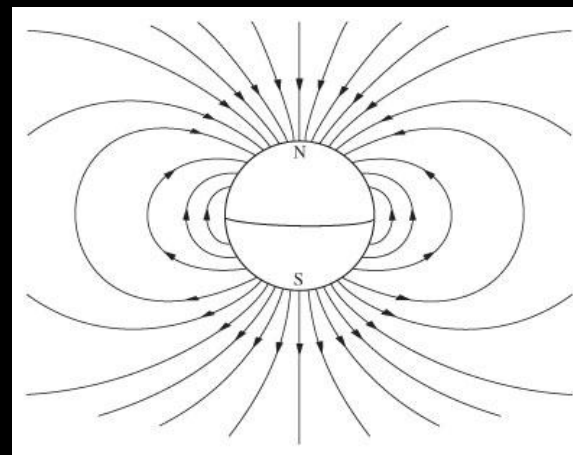
- *Гравитация*, или сила тяжести, обуславливающая вес тел, направлена всегда перпендикулярно к поверхности геоида и обратно пропорциональная квадрату расстояния от центра притяжения, т. е. чем дальше от центра притяжения, тем меньше сила тяжести. Источником гравитационного поля Земли является ее масса. Масса Земли огромна, поэтому вокруг ее существует огромное гравитационное поле. Всякое тело, находящееся в гравитационном поле, испытывает не только притяжение, но и действие центробежной силы, возникающей в результате вращения Земли. Сила тяжести – это равнодействующая силы притяжения и центробежной силы.



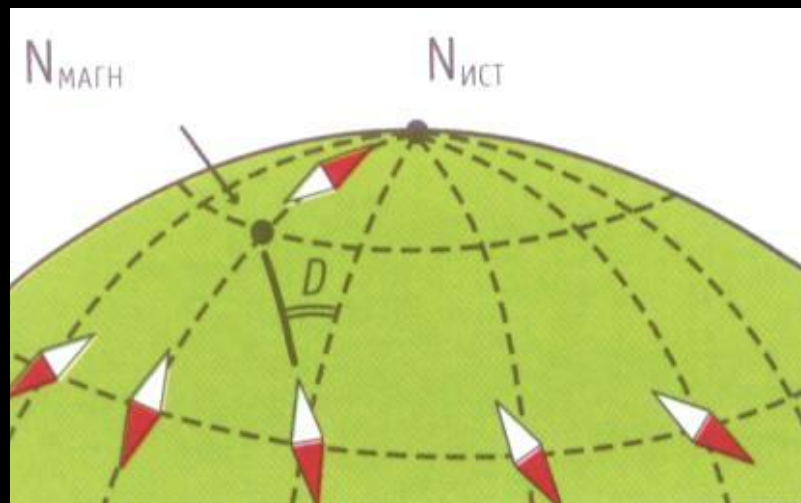
<sup>5</sup> Во время землетрясения на Суматре на дне океана образовался рубец, из-за чего геоид прогнулся почти на 18 мм<sub>15</sub>

# Магнитное поле Земли

- Земля представляет собой магнит, полюса которого не совпадают с географическими полюсами земного шара. Так, северный магнитный полюс расположен на полуострове Беотия (Северная Канада), к северу от Гудзонова залива. Южный магнитный полюс располагается на меридиане Новой Зеландии, к югу от нее на материке Антарктиде.
- Линии, соединяющие магнитные полюса называются магнитными меридианами. Магнитная стрелка (магнитные стрелки известны с 10 века до нашей эры) располагается параллельно магнитным меридианам.



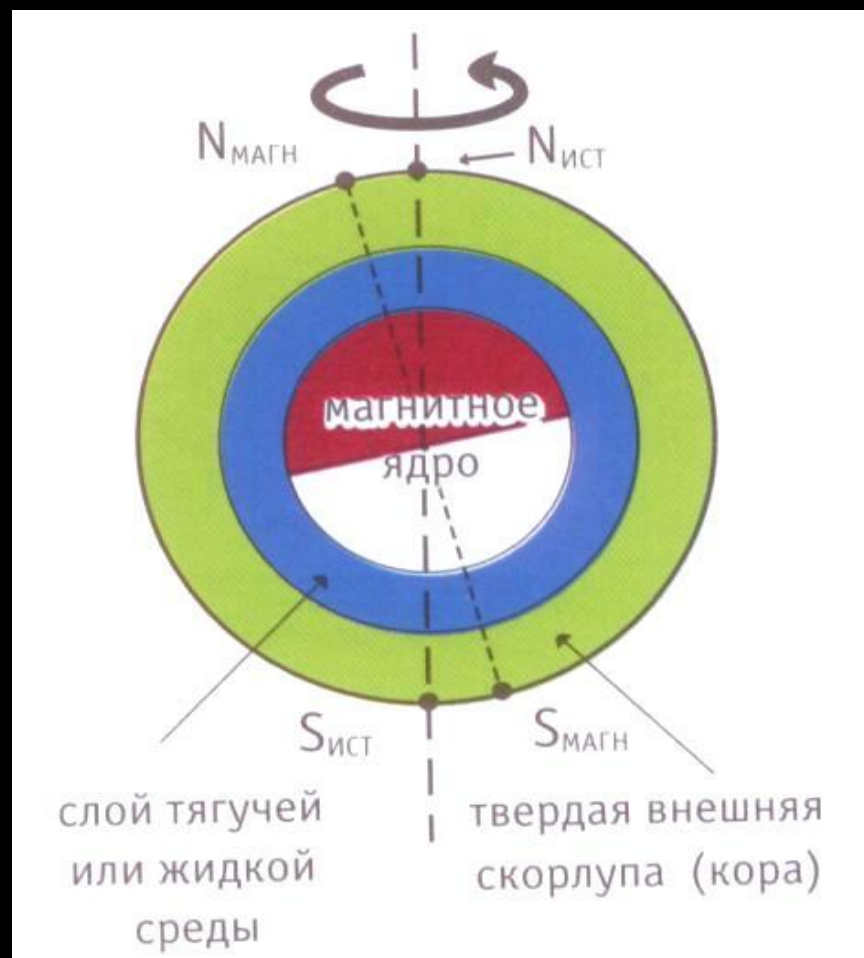
Магнитные силовые линии Земли



Магнитное склонение

# Природа магнитного поля Земли

- Постоянное магнитное поле возникает под действием сложной системы электрических токов, сопровождающих турбулентную конвекцию в жидком внешнем ядре. Следовательно, Земля работает как динамо-машина, в которой механическая энергия этой конвекционной системы генерирует электрические токи и связанный с ними магнетизм.

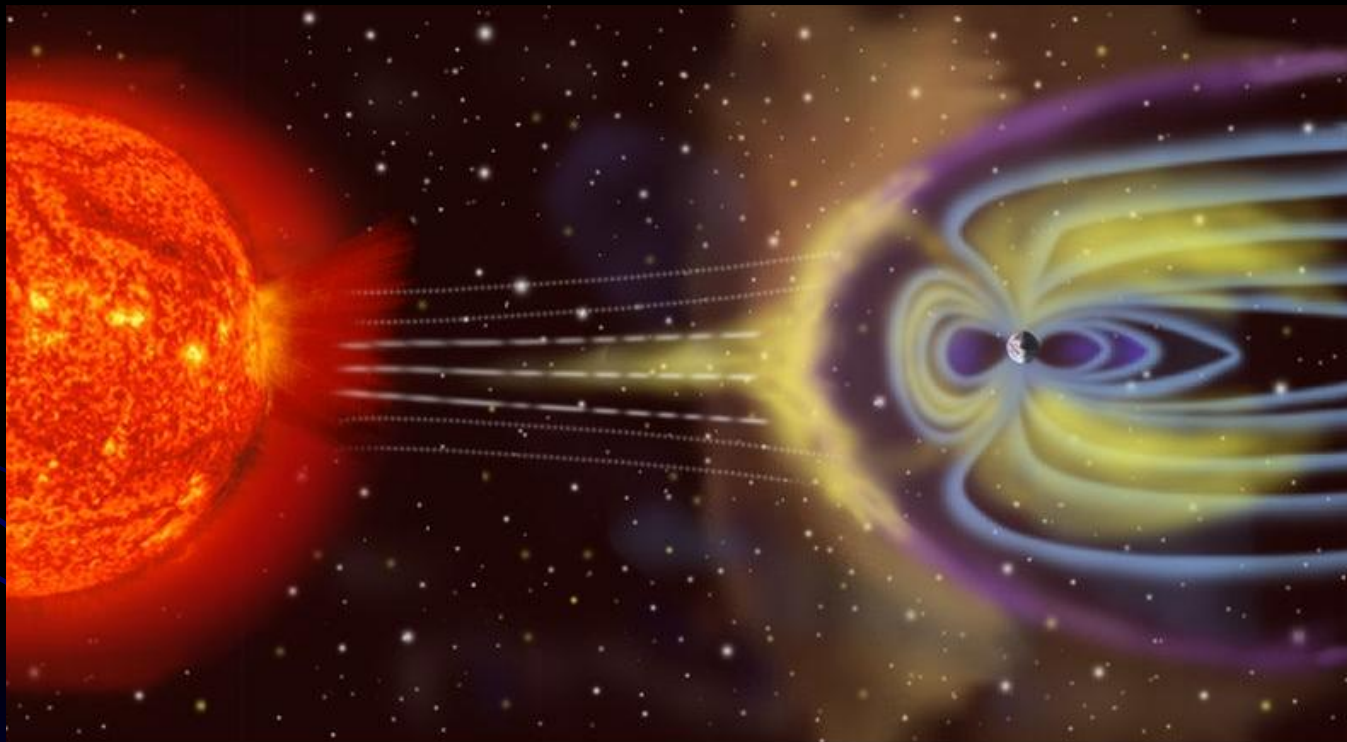




# Магнитное поле Земли<sup>2</sup>

На небольшом удалении от поверхности Земли, порядка трёх её радиусов, магнитные силовые линии имеют дипольное расположение. Эта область называется *плазмосферой* (магнитосферой) Земли.

По мере удаления от поверхности Земли усиливается воздействие солнечного ветра: со стороны Солнца геомагнитное поле сжимается, а с противоположной, ночной стороны, оно вытягивается в длинный хвост.





Полярные сияния возникают в следствие бомбардировки верхних слоев атмосферы заряженными частицами, движущимися к Земле вдоль силовых линий геомагнитного поля из области околоземного космического пространства<sup>2</sup>



# Тепловое поле Земли

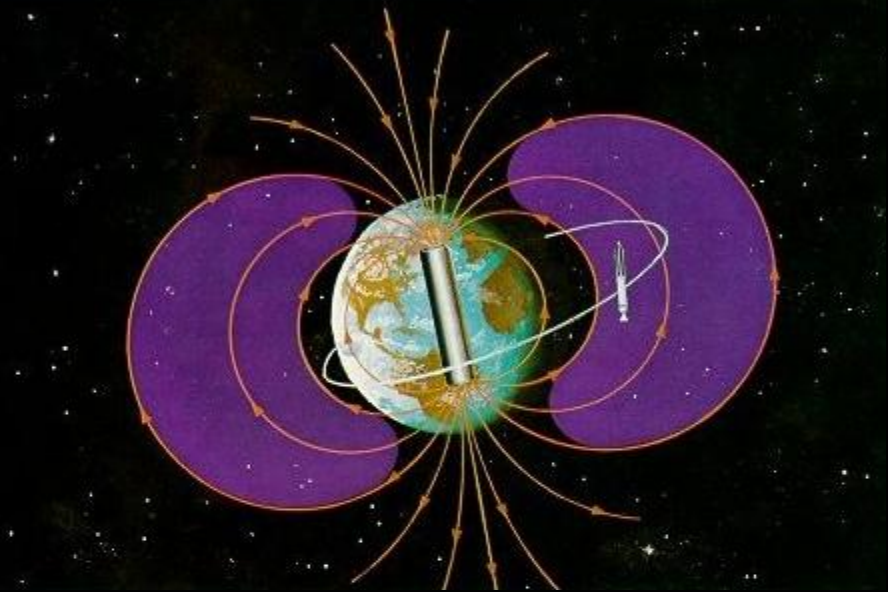
- Источниками теплового (термического) поля Земли являются внутренние и внешние процессы. Теплота Земли вызывается солнечной радиацией и зарождается в недрах планеты. Солнечная радиация поддерживает температуру поверхности Земли в среднем около  $0^{\circ}\text{C}$ . Солнце прогревает приповерхностный слой Земли на глубину в среднем 8 – 30 м, при средней глубине в 25 м, влияние солнечного тепла прекращается и температура становится постоянной
- Ниже пояса постоянных температур идет повышение температуры, в среднем  $1^{\circ}$  на 33 м (*геотермическая ступень*) или на  $3^{\circ}$  через каждые 100 м (*геотермический градиент*). Эти величины являются показателями теплового поля Земли. Понятно, что эти величины средние и разные по величине в различных областях или зонах Земли.

## причины изменения величины геотермической ступени

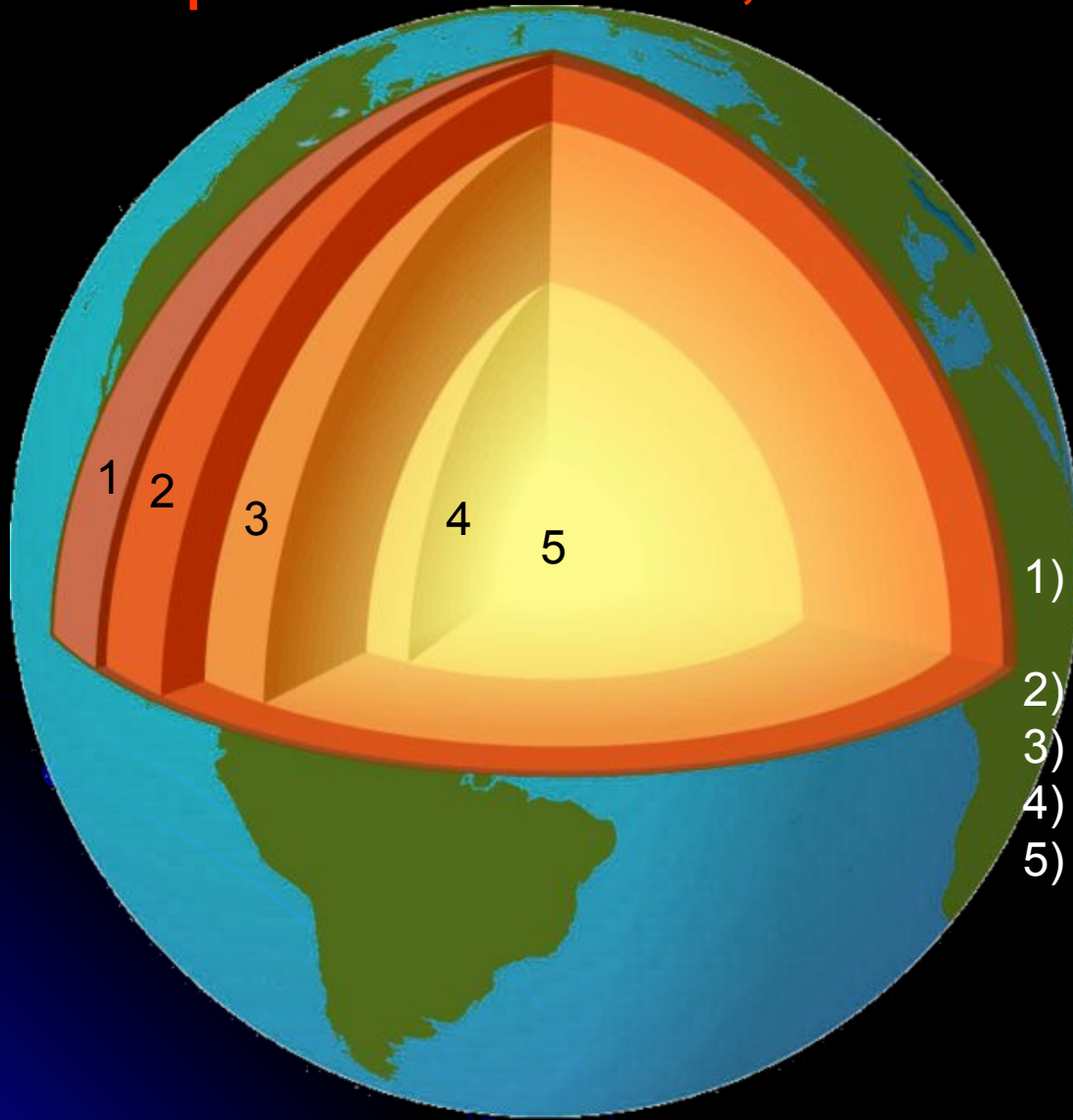
- 1) в различной теплопроводности горных пород, слагающих тот или иной район. Под мерой теплопроводности понимают количество тепла в калориях, передаваемое в 1 сек. Через сечение в  $1\text{ см}^2$  при градиенте температуры в  $1^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) в радиоактивности горных пород, чем больше теплопроводность и радиоактивность, тем меньше геотермическая ступень;
- 3) в различных условиях залегания горных пород и возрасте нарушения их залегания; наблюдения показали, что температура нарастает быстрее в слоях собранных в складки, в них чаще бывают нарушения (трещины), по которым облегчается доступ тепла из глубин;
- 4) характером подземных вод: потоки горячих подземных вод прогревают горные породы, холодные – охлаждают;
- 5) удаленностью от океана: около океана за счет охлаждения горных пород массой воды, геотермическая ступень больше, а на контакте – меньше.

# Радиационный пояс<sup>2</sup>

— область магнитосфер планет, в которой накапливаются и удерживаются проникшие в магнитосферу высокоэнергичные заряженные частицы (в основном протоны и электроны).



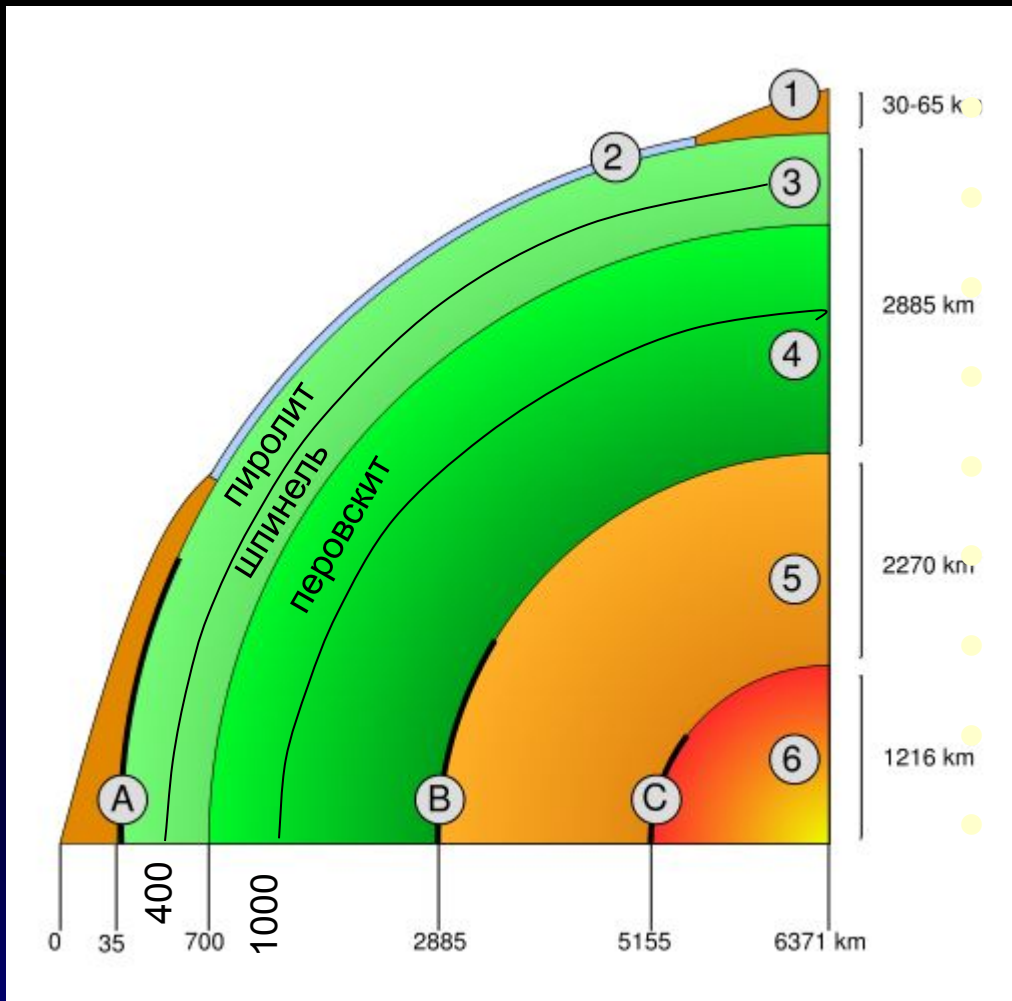
# Строение Земли, объемная модель<sup>2</sup>



## Строение Земли, объемная модель<sup>2</sup>

- 1) Земная кора - мощность  $h$   
5 - 80 км;
  - 2) Верхняя мантия  $h=1000$  км
  - 3) Нижняя мантия
- } 2900 км
- 4) Внешнее ядро - 2220 км;
  - 5) Внутреннее ядро - 1255 км

# Schematic view of the interior of Earth<sup>3</sup>



1. continental crust

2. oceanic crust

3. upper mantle

4. lower mantle

5. outer core

6. inner core

A: Mohorovicic discontinuity

B: Gutenberg Discontinuity

C: Lehmann discontinuity



**Граница (поверхность) Мохоровичича**<sup>2</sup>  
(сокращённо Мохо) — нижняя граница земной коры, на которой происходит резкое увеличение скоростей продольных сейсмических волн с 6,7—7,6 до 7,9—8,2 км/сек, и поперечных — с 3,6—4,2 до 4,4—4,7 км/сек. Плотность вещества также возрастает скачком, предположительно, с 2,9—3 до 3,1—3,5 т/м<sup>3</sup>. *Поверхность Мохоровичича* прослеживается по всему Земному шару на глубине от 5 до 70 км. Она, вероятнее всего, является границей раздела слоёв различного химического состава. Поверхность, как правило, повторяет рельеф местности.

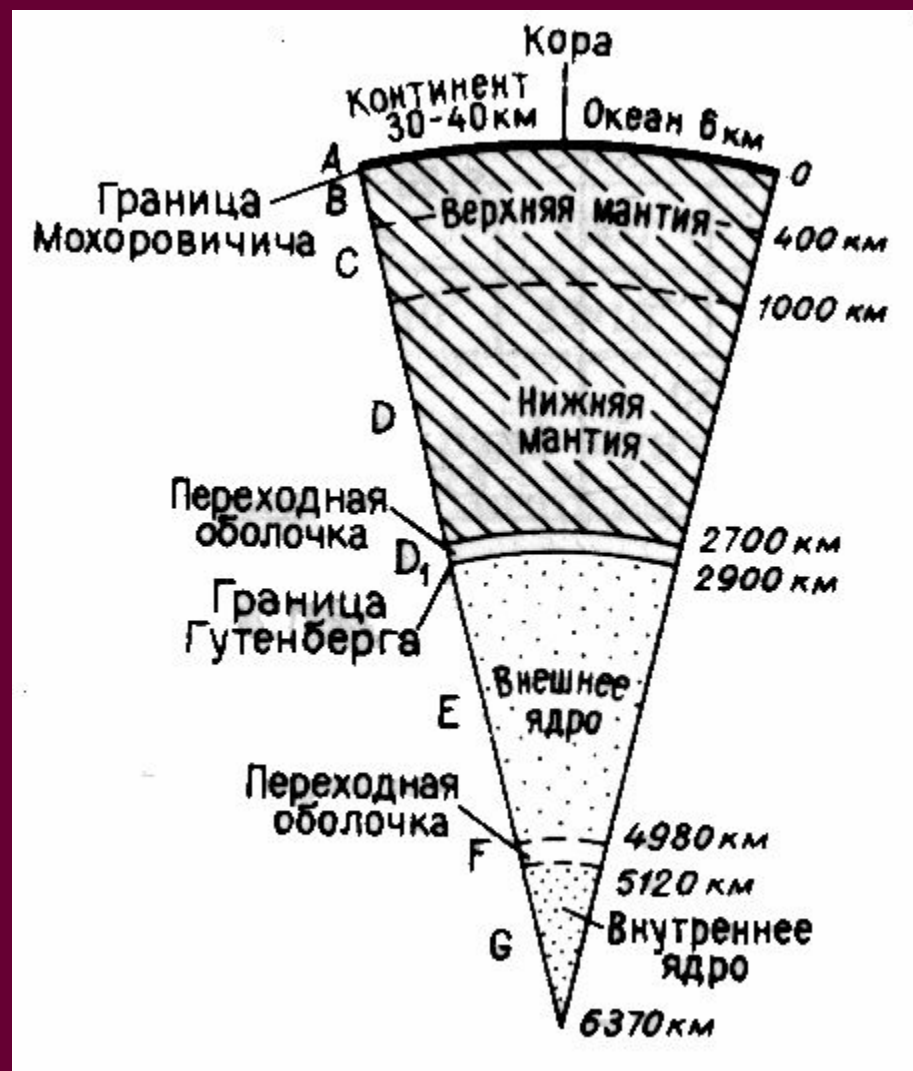
Установлена в 1909 году хорватским геофизиком и сейсмологом Андреем Мохоровичичем на основании сейсмических данных по Балканским землетрясениям.



1. *Земная кора* (слой А) -верхняя оболочка Земли, мощность которой изменяется от 6-7 км под глубокими частями океанов до 35-40 км под равнинными платформенными территориями континентов, до 50-70(75) км под горными сооружениями (наибольшие под Гималаями и Андами).

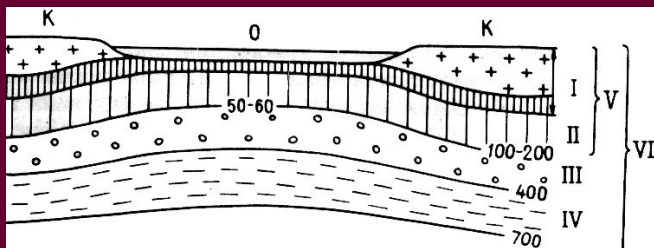
2. *Мантия Земли*, до глубин 2900 км. В ее пределах по сейсмическим данным выделяются: верхняя мантия - слой В глубиной до 400 км и С - до 800-1000 км (некоторые исследователи слой С называют средней мантией); нижняя мантия - слой D до глубины 2700 с переходным слоем D<sub>1</sub> - от 2700 до 2900 км.

3. *Ядро Земли*, подразделяемое: на внешнее ядро - слой E в пределах глубин 2900-4980 км; переходную оболочку - слой F - от 4980 до 5120 км и внутреннее ядро - слой G до 6971 км



Глубина  
км

Слой

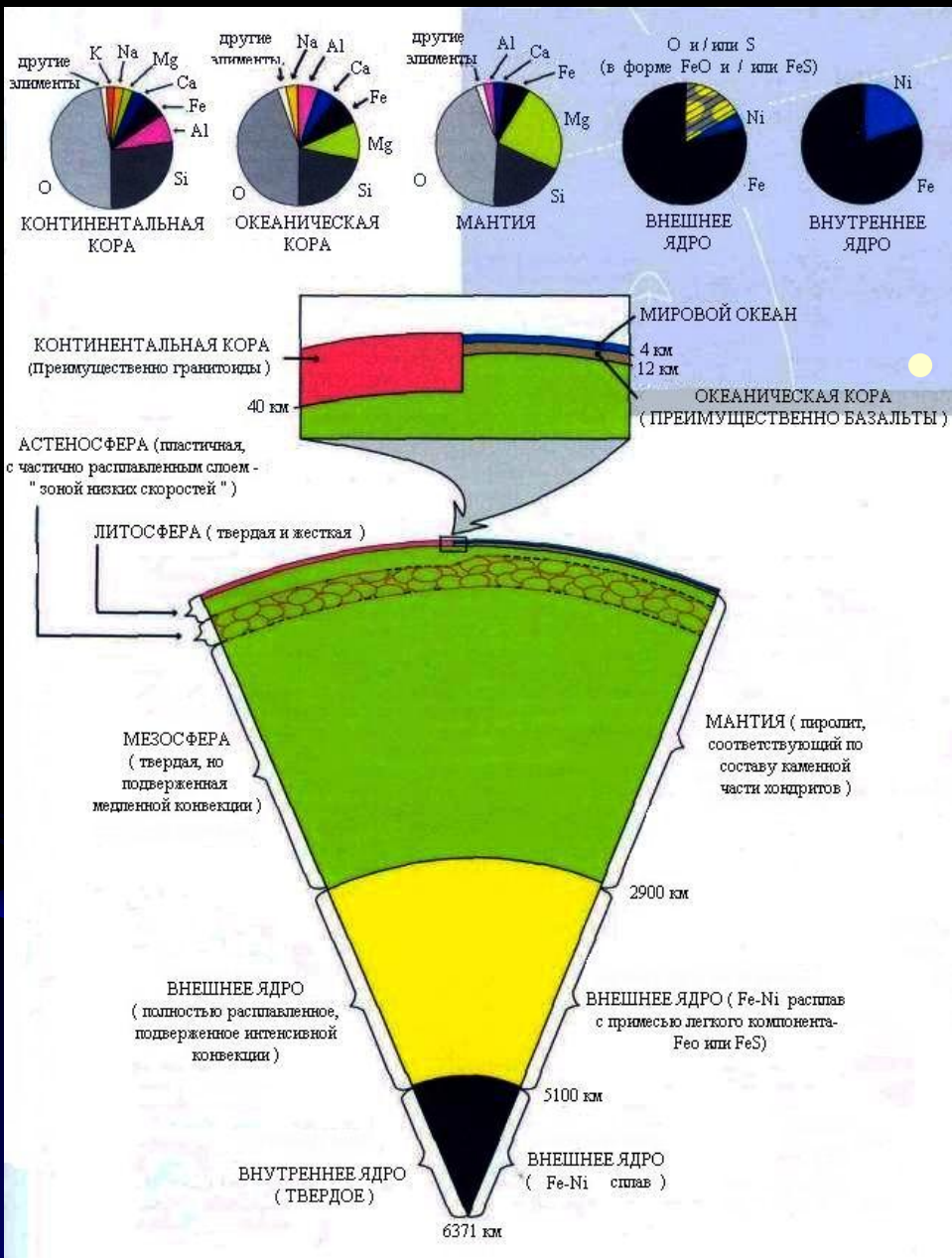


Плотность  
г/см<sup>3</sup>

0—40	<u>Кора</u> (местами варьируется от 5 до 70-80 км) Граница Мохо	2,2—2,9
40—2900	<u>Мантия</u>	3,4—5,6
до 100 (60)	Верхняя мантия ... Литифицированная мантия (верхн. часть мантии)	
до 400 (700)	... Астеносфера (слой Гутенберга)	3,4—4,4
до 1000	... Слой Голицина	
1000-2900	Нижняя мантия	—
2900—5100	Граница Вихтера-Гутенберга <u>Внешнее ядро</u>	9,9—12,2
5100—6370	<u>Внутреннее ядро</u>	12,8—13,1

Земная кора + Литифицированная мантия = Литосфера

Литосфера + Астеносфера (Верхняя мантия) = Тектоносфера



# Вещественный состав геосфер Земли (по М.Б. Сергееву, 2002)

## Состав и состояние вещества ядра

ядро представлено соединениями железа и никеля в виде гидридов и карбидов  $(\text{FeNi})\text{H}$ ,  $(\text{FeNi})\text{H}_3$ ,  $(\text{FeNi})_2\text{C}$ ,  $(\text{FeNi})_3\text{C}$ ,

- 1) состав ядра отвечает составу вещества мантии, но находится в «металлизированном состоянии»,
- 3) внутреннее ядро состоит из водорода в металлизированном состоянии.
- 4) В.Н. Ларин предположил присутствие в ядре гидридов металлов и металлов с растворенным в них водородом.

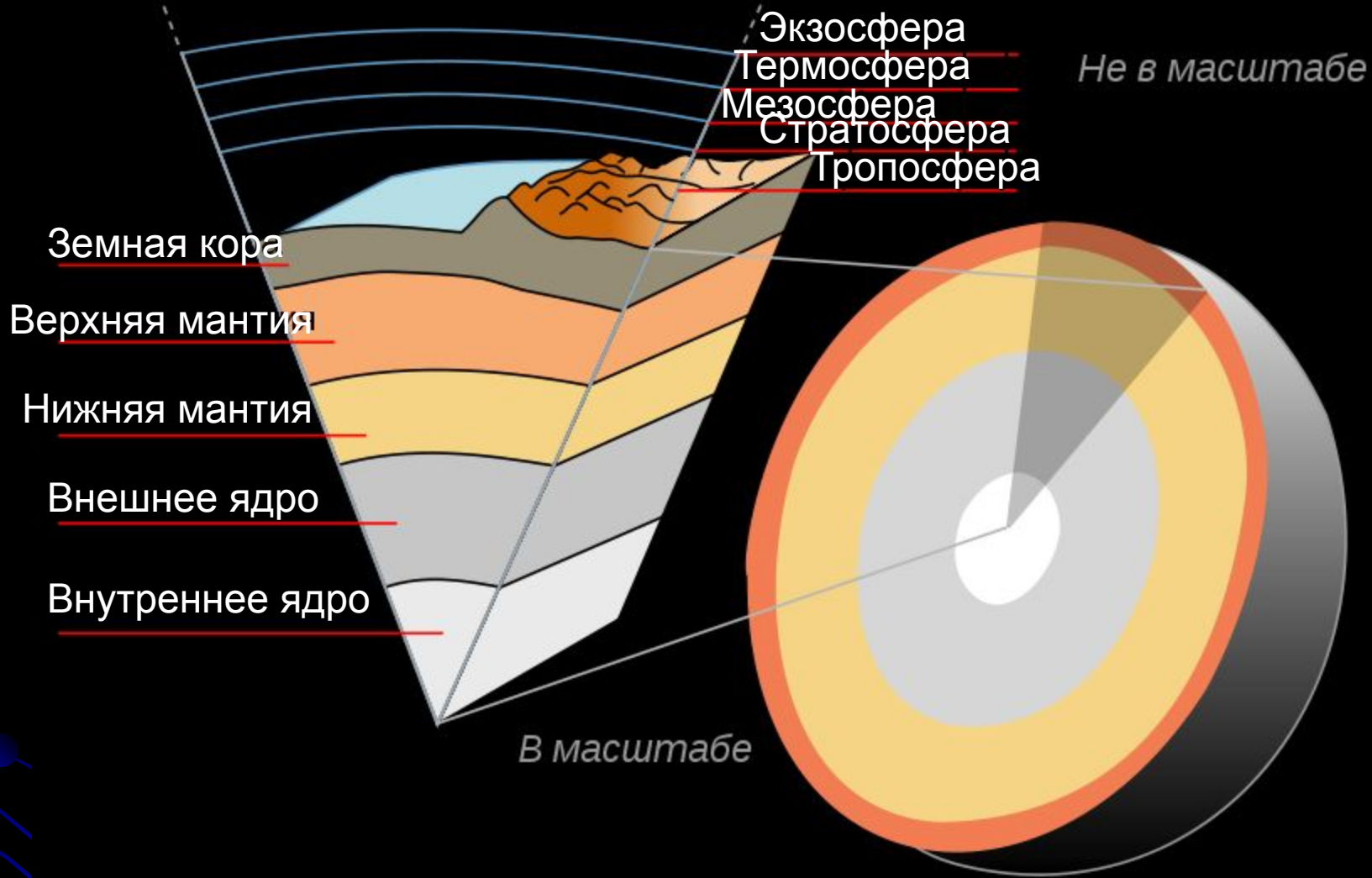
## Роль водорода в формировании планеты (по Н. П. Семенову)

Водород, главный элемент Вселенной, поступает из недр как бы «продувая» планету и отводит тепло, участвует в химических реакциях и способствует расслоению Земли на геосферы. Если бы Земля была лишена водорода, минералогия коры была бы беднее на 70%. Поступая в атмосферу преимущественно в виде паров воды, на высоте 500 км и выше вследствие фотодиссоциации он вновь становится свободным. Это единственный химический элемент, который преодолевает силы тяготения и уходит в космос.

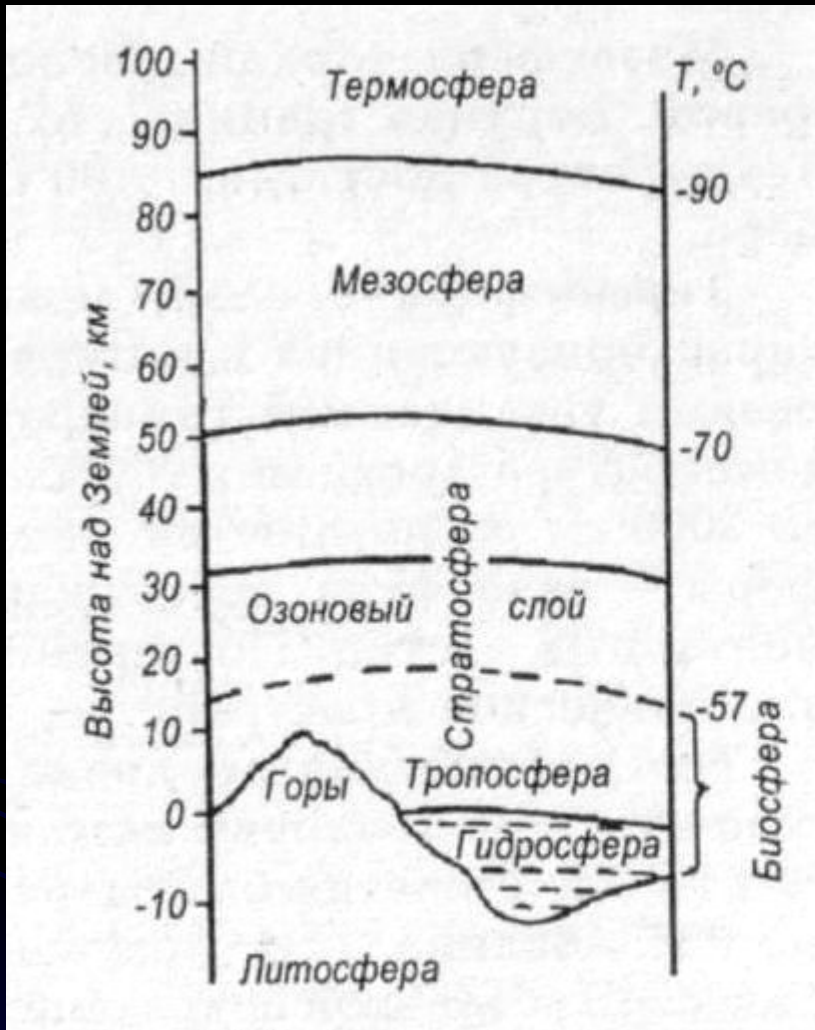


# Атмосфера

- *Атмосфера* – верхняя воздушная оболочка Земли. *Атмосфера* простирается от поверхности Земли на высоту до высоты в 1800 км, но уже выше 100 км ее следы ничтожны. Нижней границей атмосферы является поверхность Земли. Эта граница тоже до некоторой степени условна, т.к. воздух проникает в каменную оболочку и в растворенном виде содержится в воде.
- Общая масса атмосферы равна  $5,13 \cdot 10^{21}$  г, что составляет 1/10 000 часть массы Земли; 90 % всей массы атмосферы заключается в ее нижних слоях до высоты 15 км от поверхности. Атмосфера состоит в основном из смеси N (78,09 %) и O (20,95 %), 1 % приходится на долю прочих газов: инертных (аргон, неон, криптон), водорода, углекислого газа, метана, гелия, озона.



## Строение Земли и атмосферы<sup>2</sup>



ния атмосферы

В атмосфере выделено 5 основных сфер: тропосфера (8-18 км); стратосфера (до 60 км), мезосфера (до 80 км), ионосфера (до 800 км), экзосфера (до 2000 км).

Схема строения атмосферы

# ФОТО ЗАИМСТВОВАНЫ ИЗ

1. [www.astro-azbuka.info](http://www.astro-azbuka.info) и  
[www.astro-site.narod.ru/sun.html](http://www.astro-site.narod.ru/sun.html)
2. <http://ru.wikipedia.org>
3. <http://en.wikipedia.org>
4. Фильм ВВС «Машина времени»
5. <http://elementy.ru/images/news>
6. Основы геологии. Н.В.Короновский, А.Ф. Якушова

Спасибо за внимание!

