



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

РОМАНОВСКАЯ
МАРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

ГЕОЛФАК МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН
СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ
СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ.
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ
НА [VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ
ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ,
ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ,
НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ
[VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).



БЛАГОДАРИМ ЗА ПОДГОТОВКУ КОНСПЕКТА
СТУДЕНТКУ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ
ЛЮБИЦКУЮ АЛЬБИНУ ВЛАДИСЛАВОВНУ



Оглавление

Лекция 1. Введение в естествознание. Теория Большого Взрыва	5
1.1. Введение в естествознание. Естествознание и естественные науки	5
1.2. Краткая история развития естествознания	6
1.3. Науки о Земле	10
1.4. Теория Большого Взрыва. Понятие о Вселенной, ее происхождение и строение	11
1.5. Эволюция и возможное будущее Вселенной.....	13
1.6. Расстояния во Вселенной.....	14
Лекция 2. Метагалактика. Галактика Млечный Путь.....	16
2.1. Метагалактика	16
2.2. Галактика Млечного Пути (ГМП).....	19
2.3. Звёзды и звёздные скопления	20
2.4. Туманности.....	23
2.5. Солнечная система (СС)	24
Лекция 3. Солнечная система.....	27
3.1. Объекты Солнечной системы.....	27
3.2. Солнце, основные параметры, строение, возможное будущее Солнца	28
3.3. Планеты Солнечной системы	36
3.4. Спутники планет	40
3.5. Малые тела СС	41
3.6. Транснептуновые объекты.....	41
3.7. Метеориты	42
3.8. Кометы	42
Лекция 4. Форма и строение Земли	44
4.1. Форма и размеры Земли. Древние представления об устройстве мира.....	44
4.2. Размеры и форма Земли	45
4.3. Внутреннее строение Земли.....	48
4.4. Основные методы изучения	49
4.5. Главные сейсмические границы	50
4.6. Основные оболочки Земли	51
4.7. Естественные физические поля Земли.....	54
Лекция 5. Тектонические движения. Землетрясения.....	58
5.1. Экзогенные и эндогенные процессы.....	58
5.2. Тектонические движения.....	58
5.3. Землетрясения.....	62
5.4. Очаг землетрясения. Сейсмические волны.....	63
5.5. Методы изучения землетрясений (полевые и инструментальные).....	68

Лекция 6. Причины землетрясений. Цунами	71
6.1. Причины землетрясений. Тектонические причины.....	71
6.2. Вулканические причины	73
6.3. Экзогенные причины	73
6.4. Техногенные, антропогенные, причины.....	73
6.5. Прогноз и сейсмическое районирование	73
6.6. Цунами	74
Лекция 7. Магматизм. Интрузивный магматизм	78
7.1. Магматизм.....	78
7.2. Магматические горные породы	80
7.3. Интрузивный магматизм.....	81
7.4. Эффузивный магматизм. Вулканизм	87
Лекция 8. Магматизм. Вулканизм	90
8.1. Продукты вулканических извержений	90
8.2. Вулканические аппараты и постройки.....	97
8.3. Категории вулканических извержений.....	100
8.4. Поствулканические явления.....	101
8.5. Распространение вулканов на Земле	103
8.6. Исторические катастрофы	104
Лекция 9. Тектоника литосферных плит	106
9.1. Эволюция тектонических взглядов	106
9.2. Возрождение идей мобилизма и новые достижения наук о Земле	108
9.3. Основные положения тектоники литосферных плит	113

Лекция 1. Введение в естествознание. Теория Большого Взрыва

1.1. Введение в естествознание. Естествознание и естественные науки

Естествознание - совокупность знаний природных объектах, явлениях и процессах. Интерес к окружающей природе возник с самого начала появления человека. Естествознание возникло до образования отдельных естественных наук, активно развивалось в XVII-XIX веках до начала научно-технической революции. В конце XIX века естественные науки выделились в отдельные сферы.

Естественные науки (устар. естественная история) - науки, изучающие природу, понимаемую в широком смысле как материальный мир Вселенной. Естественные науки, как современные научные направления, сформировались в XIX веке. К естественным наукам относят науки, изучающие природу и природные явления, в отличие от гуманитарных и социальных наук, изучающих человеческое общество.

Основные направления естественных наук: *физика, химия, биология, науки о Земле, астрономия.*

Наука, теория, концепция, гипотеза

Наука - область человеческой деятельности, направленная на выработку и систематизацию знаний о действительности. Эта деятельность осуществляется путём сбора фактов, их обновления, систематизации и анализа. На этой основе выполняется синтез новых знаний или обобщений, которые выявляют причинно-следственные связи, что позволяет осуществить прогнозирование.

Роль науки в обществе постоянно растёт. Среди ее основных функций следующие:

- *мировоззренческая* - объясняет мир;
- *познавательная* - способствует познанию мира;
- *преобразующая* - фактор общественного развития, лежит в основе современного производства, создания передовых технологий.

Наука повышает комфортность и удобство окружающего мира для человека.

Аристотель - древнегреческий философ, ученик Платона, воспитатель Александра Македонского считал, что «наука - это знание, основанное на доказательстве».

Теория (греч. *theoria* - рассмотрение, исследование) - учение, система научного знания, описывающая и объясняющая некоторую совокупность явлений и сводящая открытые закономерности к единому объединяющему началу.

В широком смысле – это комплекс взглядов, представлений, идей, направленных на истолкование и объяснение какого-либо явления; теория представляет целостную систему знания с логической зависимостью одних элементов от других и возможностью прогноза и предсказания, в отличие от *концепции и гипотезы*.

Концепция (от лат. *conceptio* - понимание, система) - определенный способ понимания, трактовки какого-либо предмета, явления, процесса, точка зрения на предмет или явление, руководящая идея для их освещения.

Гипотеза (от греч. *hypothesis* - основание, предположение) - положение, выдвигаемое в качестве предварительного, условного объяснения некоторого явления; выдвигаемая на основе определенного знания об изучаемом явлении, гипотеза играет роль руководящего принципа, направляющего и корректирующего дальнейшие наблюдения и эксперименты. Гипотеза представляет собой необходимое звено в развитии научного знания.

Классификация наук

«Нет прикладных наук, есть только приложения науки» Луи Пастер

Луи Пастер (1822 - 1895) - французский химик и бактериолог, основоположник современных микробиологии и иммунологии.

По предмету и методу познания условно можно выделить: *формальные науки, науки о природе (естественные) и обществе (социально-гуманитарные)* (рис. 1.1).

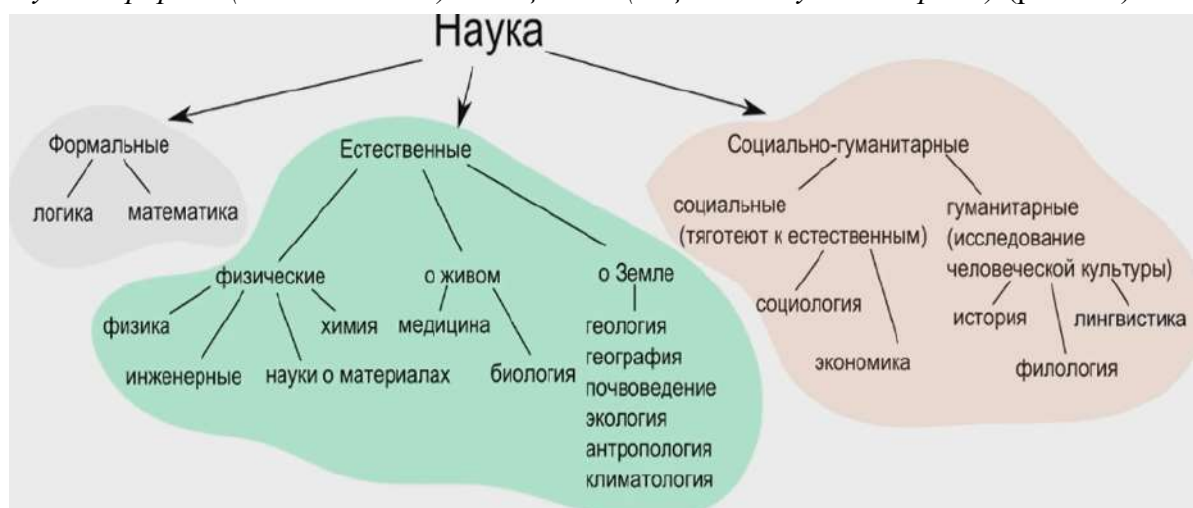


Рис. 1.1. Классификация наук

1.2. Краткая история развития естествознания

Доисторический период: Первобытное общество, Каменный век, Бронзовый век, Железный век. С самого начала, когда человек брал в руки какое-либо орудие, он являлся естествоиспытателем.

Древние цивилизации, VI век до н.э. - III век н.э.: Аристотель, Аристарх Самосский, Пифагор и Геродот, Древний Китай. Возникновение естественных наук связано с развитием античной философии - натурализма и научными исследованиями природы.

Средневековье: поздний период, пересмотр основных представлений античной естественнонаучной картины мира, *схоластики и религиозных догматов.*

Эпоха Возрождения, XIV-XVIII вв.: Леонардо да Винчи, Агрикола, Н. Коперник, Н. Стено. До XVIII века - период накопления первичных естественно-научных знаний.

Вторая половина XVIII века: Научно-техническая революция – накопленные знания стали обособляться в отдельные направления науки. Ж.Л. Бюффон (Теория Земли, 1749 г. и Эпохи природы, 1778 г.), И. Кант, М.В. Ломоносов, А. Вернер, Дж. Гаттон, П.С. Лаплас и многие, многие другие естествоиспытатели.

В XVIII -XIX веках на основании выделения объектов исследования и создания новых методов их изучения сформировались самостоятельные научные направления и школы.

Школы различались по оценке факторов, энергии и скорости действующих в природе сил. У них было разное отношение к принципу однообразия, непрерывности и суммирования мелких изменений в течение длительного времени.

По вопросу о соотношении ныне действующих сил природы с силами прошлого выделялись:

- Катастрофизм
- Униформизм
- Эволюционизм

XX-XXI века Современные естественные науки, нанотехнологии, космические достижения и т.д.

1. Катастрофизм

Теория катастроф или катастрофизм - (от др. греч. *katastrophe* - переворот) концепция, противопоставляемая теории эволюции, согласно которой в истории Земли периодически повторяются события, внезапно изменяющие первичное залегание горных пород, рельеф земной поверхности и уничтожающие биоту на Земле. Эта концепция была выдвинута в 1812 г. французским натуралистом Жоржем Кювье (1769- 1832), не признававшим изменчивости видов для объяснения смены ископаемых форм фауны и флоры, наблюдаемой в геологических пластах.

Согласно этой концепции, геологическая история Земли состояла из ряда этапов спокойного развития и бурных катастроф, катаклизмов, изменяющих лик Земли. Кроме того, в результате этих катастроф, частично, по Кювье, или даже полностью, по Мавро Орбини (1550 - 1614, далматинский историк), уничтожался весь существующий на Земле органический мир, а затем возникал новый мир.

В основу этих представлений легло наблюдение в истории биоты *массовых вымираний (МВ)*.

Крупнейшие массовые вымирания

Ордовикско-силурийское - в конце ордовика исчезло свыше 40% морских организмов. В качестве причины называют оледенение с центром в Северной Америке, которое вызвало глобальную регрессию моря (Мазур, 2004). Известно, что жизнь зародилась в океане. В морях и океанах максимально населенной частью является *шельф* – пологая переходная зона между континентами и океанами, имеющая большие протяженности, иногда до 1000 км. Поскольку шельф является мелководной зоной, куда

легко проникают свет и тепло, на нем представлено огромное многообразие видов живых организмов. При возникновении оледенений падает уровень мирового океана, что ведет к обнажению шельфов и гибели организмов.

Пермско-триасовое - исчезло около половины семейств и свыше 90% родов морских животных, фактически почти исчезли палеозойские животные. В качестве причины рассматривают сильнейшую регрессию второй половины пермского периода, с почти полным осушением шельфов, при нарастающей сезонности климата.

Триасово-юрское - (норийский век), скорость вымирания животных составили 10,8% семейств за 1 млн. лет. Причины данного МВ неясны.

Мел-палеогеновое - фиксируется повсюду (вымирание, когда исчезли динозавры). Только в маастрихском веке перестало существовать 16,3% семейств, исчезло 43,9% родов. В целом уровень вымирания видов из 9 групп достигает 90%. Отмечается падение продуктивности фотосинтезирующих организмов в палеоцене. Основная гипотеза - падение на Землю крупного метеорита размерами порядка 100 м. При подходе к Земле за счет трения в атмосфере метеорит разорвался на множество частей, что создало падение раскаленных обломков, вызвавшее пожары на всей планете, которые полностью уничтожили растительность. Это повлекло за собой прерывание всей пищевой цепи, что вызвало массовое вымирание. В породах этого периода отмечается повышенное содержания осмия и иридия, весьма редких в земных породах элементов, это повышение объясняют космическими причинами (Мазур, 2004). В результате падения метеоритных обломков также увеличилось содержание углекислого газа в атмосфере (следствие пожаров) и содержание пыли, выбитой ударами метеоритов. В результате попадания пыли в высокие слои атмосферы возник *эффект ядерной зимы* – пыль заполонила атмосферу Земли, что не давало солнечным лучам распространяться на Землю.

Существует мнение, что, если бы падения метеорита не произошло, у человечества не было бы шансов на существование. Зарождение млекопитающих в период существования динозавров уже происходило, но, поскольку динозавры являлись главенствующей группой, шансов выжить при их существовании у млекопитающих не было.

Первые млекопитающие жили под Землей, поэтому падение температуры и отсутствие пищи на поверхности Земли не сильно на них повлияло.

В последнее время ведутся дискуссии о том, что Солнце не является единичной звездой, как считалось ранее. Предполагается, что это *двойная звезда*. Также, существует звезда *Немезида*, вращающаяся вместе с Землей вокруг одного центра тяжести. Немезида имеет вытянутую орбиту. Эта звезда влетает в область планет раз в 26 млн лет. Считается, что, когда Немезида влетает в сферу, где может оказываться влияние на планеты, случаются вымирания, поскольку небесные тела сходят со своих орбит.

Малые массовые вымирания

Франско-фаменское, фаменско-турнейское, серпуховско-башкирское, сеноманотуронское, эоценово-олигоценовое, плейстоценново-голоценовое.

2. Униформизм

Униформизм (от лат. uniformis - единообразный) - научная концепция, исходящая из представления о неизменяемости системы геологических факторов во времени. Так впервые английский учёный У. Уэвелл (1832) назвал учение Чарльза Лайеля.

Доктрина Единообразия или Принцип униформизма - предположение о том, что одни и те же естественные законы, силы и процессы, которые действуют в настоящее время, всегда и повсюду действовали во Вселенной.

Униформизм основывался на механистическом естествознании, утверждавшем, что законы природы вечны и неизменны, и в прошлом на Земле действовали те же силы, с такой же интенсивностью и скоростью, как и в настоящее время. Земля не развивается в каком-то определенном направлении. Отсюда вытекал известный тезис Лайеля об однообразии земных изменений на протяжении всех геологических периодов, что означает отрицание прогрессивного развития.

Впоследствии униформизм подвергся критике, которая особенно усилилась после появления работы Ч. Дарвина «Происхождение видов»(1859), т.к. теория естественного отбора допускала тенденцию к прогрессу, а это неизбежно нарушало однообразие.

3. Эволюционизм

Эволюционизм – это общепризнанное понятие, означающее мировоззрение, рассматривающее мир с точки зрения эволюции, то есть постепенного развития, необратимого и направленного изменения, перехода от одного состояния к другому качественно новому состоянию (рис. 1.2).

Первые эволюционные идеи выдвигались уже в античности. Однако в современном понимании эволюционизм проникает в европейское естественно-научное и гуманитарное сознание только в 18 веке, благодаря трудам Ж. Л. Бюффона, И. Канта, И. Г. Гердера.

В 19 века эволюционизм становится почти обязательным компонентом научных воззрений, чему способствовали прежде всего философия Г. В. Ф. Гегеля (его учение о всеобщих формах развития), теория происхождения видов Ч.Р. Дарвина система идей, утверждающих историческое прогрессивное развитие биосферы. Земли.

Труды Ч.Р. Дарвина сделали эволюционизм фундаментальной концепцией биологии. С тех пор было накоплено огромное число научных фактов, подтверждающих эволюцию в разных областях естествознания.

В 20 веке было установлено, что история внешних оболочек Земли (атмосферы, гидросферы, биосферы, литосферы) имеет черты необратимого развития; был окончательно принят принцип эволюционного развития Вселенной.

Прерывисто-непрерывное и необратимое развитие органического мира

Биологическая сукцессия (от лат. successio- преемственность) - последовательная закономерная смена одного биологического сообщества другим. Каждому отрезку времени отвечают характерные только для него растения и животные. Каждый вид проходит определенный этап развития, а затем исчезает навсегда и никогда больше на

Земле не появится. На этом принципе при находках вымерших живых организмов *палеонтология* выстраивает последовательность смены времен.

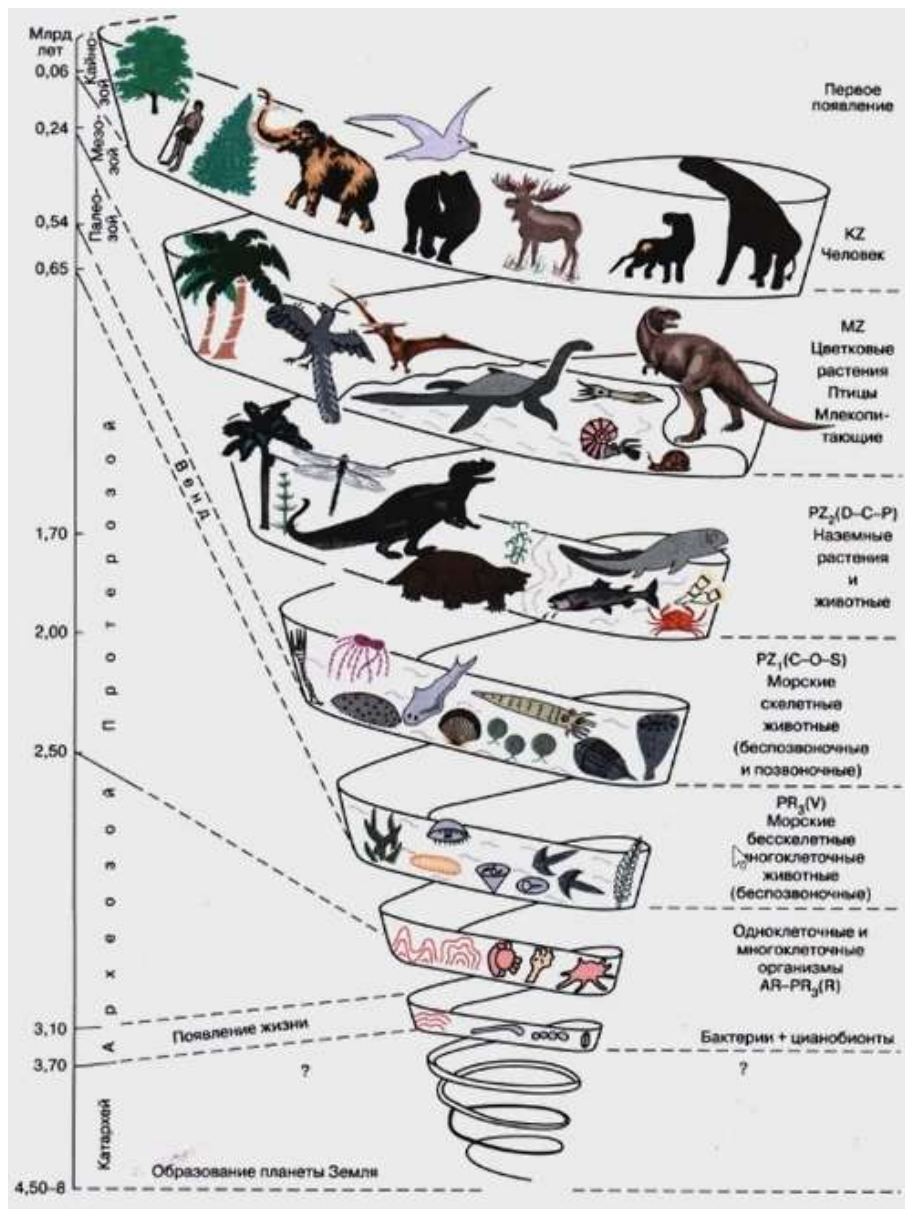


Рис. 1.2. Эволюционизм

1.3. Науки о Земле

Науки о Земле (геонауки) - науки, изучающие планету Земля, ее литосферу, гидросферу и атмосферу, космическое пространство вокруг Земли и космические объекты (астрономия и планетология).

Основной наукой о Земле является геология, включающая науки:

- о возникновении и строении Земли - *историческая геология, стратиграфия, палеонтология, геохронология, вулканология;*
- о составе Земли - *минералогия, петрография, литология, геохимия;*

- о развитии и динамике Земли - *геодинамика и тектоника*;
- геофизика;
- *о полезных ископаемых* - горючих, рудных и нерудных;
- о водных ресурсах - *гидрогеология и гидрология*;
- *инженерная геология*;
- *геокриология*;

Значительный вклад в изучение Земли вносят:

- география, геодезия и геоморфология;
- океанография и океанология;
- метеорология и климатология;
- почвоведение;
- геоэкология

1.4. Теория Большого Взрыва. Понятие о Вселенной, ее происхождение и строение

Вселенная - совокупность всего, что существует физически, т.е. весь окружающий нас материальный микро-, макро-и мегамир.

Космос (с греч. - «упорядоченное», «красивое») - мир в целом, миропорядок, упорядоченная Вселенная, в противоположность хаосу.

Вселенная и ее происхождение

Вселенная - весь существующий материальный мир, безграничный во времени и пространстве, и бесконечно разнообразный по формам материи.

Согласно современным представлениям, Вселенная возникла около 13,8 млрд. лет назад в результате *Большого Взрыва* из сингулярного состояния с бесконечно большой температурой и плотностью, и, с тех пор, непрерывно расширяется и охлаждается.

Большой Взрыв - общепринятая современная космологическая модель. Впервые термин «Большой взрыв» (Big Bang) применил Фред Хойл в своей лекции в 1949 г. Сам Хойл придерживался гипотезы «непрерывного рождения» материи при расширении Вселенной.

Пространство и время появились после Большого Взрыва. Такой вывод был сделан из решения уравнений *общей теории относительности (ОТО) А. Эйнштейна*.

В 1922 году российский и советский физик и математик А.А. Фридман на основании решения гравитационного уравнения ОТО, предположил расширение Вселенной и возникновение ее в результате взрыва, который произошел одновременно и повсюду. Изначальное вещество было очень плотным, из него через миллиарды лет образовались звёзды, галактики, Солнце, планеты и т.д.

В 1948 г. Г.А. Гамов, советский физик-ядерщик, предположил, что первичное вещество Вселенной было еще и очень горячим. Согласно Г.А. Гамову, тепловое излучение первичного горячего вещества не должно исчезнуть при расширении

Вселенной, а только остыть. Т.е. в космосе должно существовать постоянное фоновое излучение. Его температура в настоящее время должна составлять около 3°K .

Подтверждения Большого Взрыва

В 1929г. – первое фактическое подтверждение теории Большого Взрыва. Э. Хаббл, американский астроном и космолог, установил, что линии в электромагнитных спектрах подавляющего большинства галактик смещены к красному концу спектра, причем смещение тем больше, чем дальше от нас находится галактика. Установил он это на основании *эффекта Доплера* (рис. 1.3).

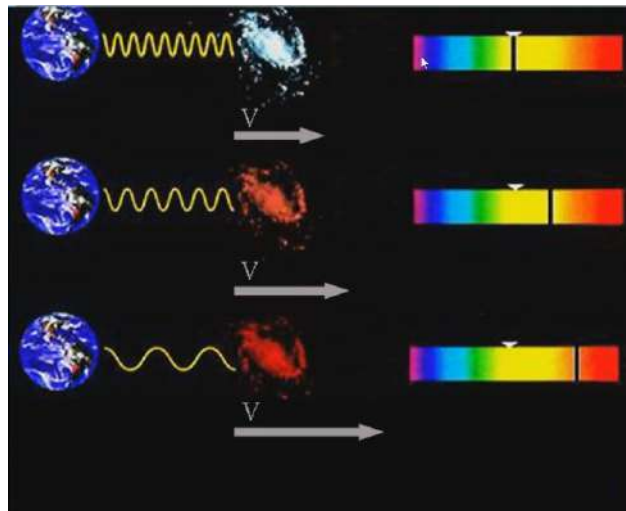


Рис. 1.3. Эффект Доплера

Для каждого объекта существует характерная спектральная линия (натрий – желтая, медь – зеленая и т.д.). Согласно эффекту Доплера, спектр удаляющегося объекта смещается в красную зону спектра, так называемое *красное смещение*.

Закон Хаббла

Красное смещение (а значит и скорость удаления галактик) возрастает пропорционально расстоянию от галактик.

$$V = Hr,$$

где V - радиальная скорость галактики; r - расстояние до нее; H - коэффициент пропорциональности, или постоянная Хаббла.

По современным оценкам, галактики, разделенные расстоянием 1 Мпк, удаляются друг от друга со скоростью от 50 до 100 км/с.

В 1965г. - *второе фактическое подтверждение теории Большого Взрыва*. В 1965г. радиоинженеры А. Пензиас и Р. Вильсон из Bell Telephone Laboratories в Холмдейле (штат Нью-Джерси, США) построили радиоантенну, для решения задач, в радиоастрономии и спутниковых коммуникаций. Антенна постоянно фиксировала фон, не являющийся радиоволнами от объектов. Было установлено, что это фоновое излучение абсолютно черного горячего тела (отголосок сингулярности), и он одинаков во всех направлениях во всех областях космоса, что возможно наблюдать. Арно Пензиас (р.1933) и Роберт Вильсон (р.1936) - лауреаты Нобелевской премии 1978 года.

А. Пензиас и Р. Вильсон случайно обнаружили фоновое космическое сверхвысокочастотное электромагнитное излучение в радиоволновом диапазоне. Как предсказывал Г.А. Гамов, спектр наполняющего Вселенную реликтового излучения (от лат. *relictum* - остаток, (англ. *cosmic background radiation*)) соответствует спектру излучения абсолютно чёрного тела с температурой $2,725^{\circ}\text{K}$, частотой $160,4$ ГГц, что соответствует длине волны $1,9$ мм. Излучение изотропно с точностью до $0,01\%$, то есть излучение однородно, его интенсивность постоянна по всему небу.

Третье фактическое подтверждение теории Большого Взрыва - это то, что наблюдаемый химический состав Вселенной, состоящей приблизительно из (по массе) водорода и гелия с небольшой (порядка 1%) примесью прочих элементов. Это косвенно говорит о том, что изначально состав всего был одинаков. Спектральные линии, приходящие от далеких звезд, все вещество, что попадает из космоса на Землю, вещество, привозимое из экспедиций на Луну и Марс, имеет в составе одинаковые элементы.

Согласно теории Большого Взрыва, Н и He образуются в первые минуты существования Вселенной. Прочие тяжелые элементы образуются гораздо позднее внутри звёзд и попадают в межзвёздное пространство в результате взрывов сверхновых звезд.

1.5. Эволюция и возможное будущее Вселенной

От первых долей секунды (10^{-43} сек планковское измерение времени) после Большого Взрыва до 1 сек возникли сначала энергия, лучевая энергия, затем кварки – частицы, из которых состоят элементарные частицы (нейтроны, протоны), нейтрино, электроны, нейтроны, протоны, возникло пространство и время. Поле Хигса (бозон Хигса) - при соприкосновении с ним образуются массы. $T^{\circ}\text{C}$ Вселенной оценивается в 100 млрд. $^{\circ}\text{C}$.

В течение первых 4-х минут сформировались атомы водорода, гелия и дейтерия ($T^{\circ}\text{C}$ ниже 1 млрд. $^{\circ}\text{C}$), затем примерно 1 млн. лет шло образование других атомов ($T^{\circ}\text{C}$ несколько. тыс. $^{\circ}\text{C}$), через млрд. лет зажглись первые звезды. Атомы тяжелее чем гелий могут формироваться только в ядрах звезд. Они образуются благодаря термоядерным реакциям, которые часто приводят к взрыву звезд. Все элементы, включая углерод и кислород, из которого состоит вся органика, включая человека, прошли стадию звезд. Каждый элемент, что есть в человеке, когда-то был звездой. Благодаря взрыву образовались тяжелые элементы, послужившие строительным материалом для создания организмов.

В следующий млрд. лет происходило образование и протогалактик - сгустков космической материи, на месте которых в последующие 5 млрд. лет формировались первичные галактики.

Современная средняя $T^{\circ}\text{C}$ Вселенной оценивается в -270°C , т.е. приближается к абсолютному нулю по Кельвину (-273°C).

С момента Большого Взрыва происходит непрерывное расширение Вселенной, галактики и группы галактик разбегаются во всех направлениях друг от друга и от центра Вселенной. Средняя плотность Вселенной уменьшается. Сейчас она соответствует примерно 1 грамму вещества, распыленному в кубе с ребром 40 тыс. км (для сравнения, 40 тыс. км составляет длина экватора Земли).

Вещество распределено неравномерно: одиночные элементарные частицы и атомы, молекулы, крупные газовые и пылевые туманности, звезды, галактики и т.д.

Итак, наша Вселенная расширяющаяся. Наша Вселенная остывающая. Наша Вселенная не вечна.

Гипотезы развития Вселенной:

Наиболее предпочтительной является гипотеза инфляционного расширения (рис. 1.4). (Нобелевская премия 2011 года «за открытие ускоренного расширения Вселенной посредством наблюдения дальних сверхновых», лауреаты С. Перлмуттер, А. Рисс, Б.Шидт).

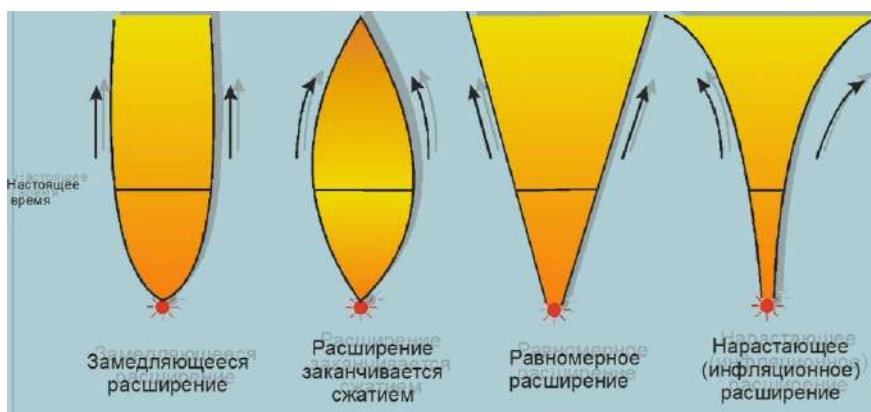


Рис. 1.4. Гипотезы развития Вселенной

Гипотеза о замедляющемся расширении говорит о том, что, расширение Вселенной является замедляющимся, и, возможно, оно закончится сжатием и возвращением в сингулярное состояние (гипотеза расширения, заканчивающегося сжатием). Гипотеза равномерного расширения говорит о том, что Вселенная будет продолжать расширяться. Современная точка зрения, которая принята на сегодняшний день – нарастающее (инфляционное) расширение: расширение происходит с ускорением.

1.6. Расстояния во Вселенной

Расстояния во Вселенной занимают огромный интервал пространственных масштабов от размеров электрона (10^{-15} м) до границ видимой Вселенной (10^{26} м).

1 астрономическая единица, а.е. – единица измерения расстояний равная среднему радиусу орбиты Земли или расстоянию от Земли до Солнца - 149,6 млн. км.

В научной и научно-популярной литературе используют понятие *световой год* - расстояние, проходимое светом в вакууме за год (V света 300 тыс. км/сек), приблизительно равное 63241,1 а.е. или 9400 млрд. км, а также понятие *парсек*.

Парсек (1пк) = 206 265 а.е. 3,258 св. года.

1 световой год = 0,306601 пк.

Параллакс (параллактическое смещение) - видимое перемещение светил на небесной сфере, обусловленное перемещением наблюдателя в пространстве вследствие вращения Земли (суточный параллакс), обращения Земли вокруг Солнца (годовой параллакс) (рис. 1.5). В зависимости от того, откуда наблюдать за объектом, происходит смещение.

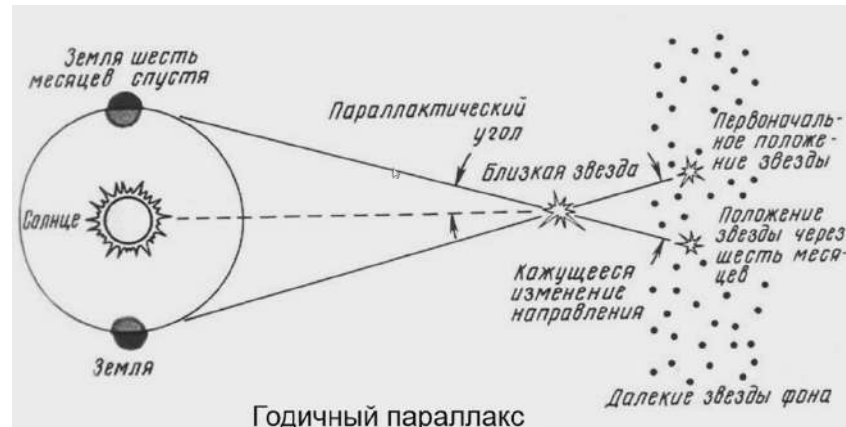


Рис. 1.5. Эффект параллактического смещения звезд

Парсек - единица измерений межзвёздных расстояний (ПАРаллак + СЕКунда). Это расстояние, с которого большая полуось земной орбиты видна под углом в 1".

1 пк = 3,26 св. года = 206265 а.е. = 3,086-10¹⁶ м

Примеры некоторых расстояний:

- Расстояние от Солнца до ближайшей звезды Проксима Центавра 1,3 пк = 4,22 св. года.
- Расстояние от Солнца до центра нашей Галактики 10 кпк 32 000 св. лет.
- Диаметр нашей Галактики 30 кпк = 100 000 св. лет.
- Расстояние до галактики Туманность Андромеды 0,77 Мпк = 772 кпк 2,3 млн. св. лет.
- Ближайшее к нам крупное скопление галактик, скопление Девы, находится на расстоянии 18 Мпк = 59 млн. св. лет.

Лекция 2. Метагалактика. Галактика Млечный Путь

2.1. Метагалактика

Метагалактика - наблюдаемая с Земли с помощью современной астрономической аппаратуры часть нашей Вселенной. Это объём, радиусом ~14 млрд. св. лет, заполненный сверхскоплениями и скоплениями галактик, галактиками, (около 1 млрд.), звездными скоплениями и звездами. Это видимая часть Вселенной, о которой мы имеем какие-либо знания благодаря тому, что с дальних ее объектов пришел свет (рис. 2.1). *Звёзды* - основное видимое население Метагалактики.

Звёзды – шарообразные горячие газовые (плазменные) самосветящиеся небесные тела, подобные Солнцу. Звёзды состоят из водорода (70-80%) и гелия (20-30%), остальные химические элементы - от 0,1 до 4%. Звезды сосредотачивают в себе до 90% видимого вещества нашей Вселенной.

Источник тепловой и лучистой энергии звёзд - *термоядерная реакция в их недрах.*

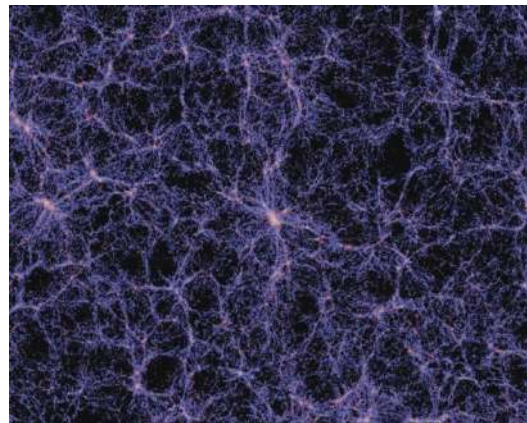


Рис. 2.1. Ячеистая структура Метагалактики

Сверхскопления галактик имеют сильно вытянутую форму и напоминают нити или цепочки, длиной в несколько сотен млн. световых лет - *филаменты*. Пересекаясь они образуют ячейки - *войды*, внутри которых галактик практически нет.

Сверхскопления галактик - крупномасштабные структуры Вселенной. Они состоят из нескольких цепочек галактик - филаментов (нити), выглядящих как светящиеся полосы, в которых наблюдаются наиболее яркие галактики (своего рода аналог Млечного Пути). Пересекаясь, филаменты образуют войды (пустоты), в которых галактик практически нет.

Местное сверхскопление галактик (Сверхскопление Девы) - сверхскопление галактик размером около 200 млн. св. лет, включает около 100 групп и скоплений галактик, в том числе и нашу *Галактику Млечного Пути*. Всего около 30 тыс. галактик; с массой 1015 масс Солнца (2-10⁹ кг).

Светимость сверхскопления слишком мала для такого количества звёзд, считается, что большая часть его массы - *тёмная материя*.

Сверхскопление Девы притягивается к гравитационной аномалии под названием *Великий аттрактор*.

Галактики - звёздные системы, связанные гравитационным притяжением (сотни млрд. звёзд).

Диаметр галактик - от нескольких тысяч до сотен тысяч световых лет. По внешнему виду галактики делят на:

- спиральные (*S*),
- эллиптические (*E*),
- неправильные (*Ir*).

Группы галактик

Группы галактик включают несколько десятков галактик. Наша *Местная группа галактик* включает 50 галактик и имеет диаметр 3,3 млн. св. лет, открыта Э. Хабблом

Самые крупные в Местной группе галактик – галактики Млечный путь и Туманность Андромеды (М31), от нас она находится на расстоянии 2,3 млн. св. лет, галактика Треугольника (М33). Остальные галактики являются карликовыми (рис. 2.2).

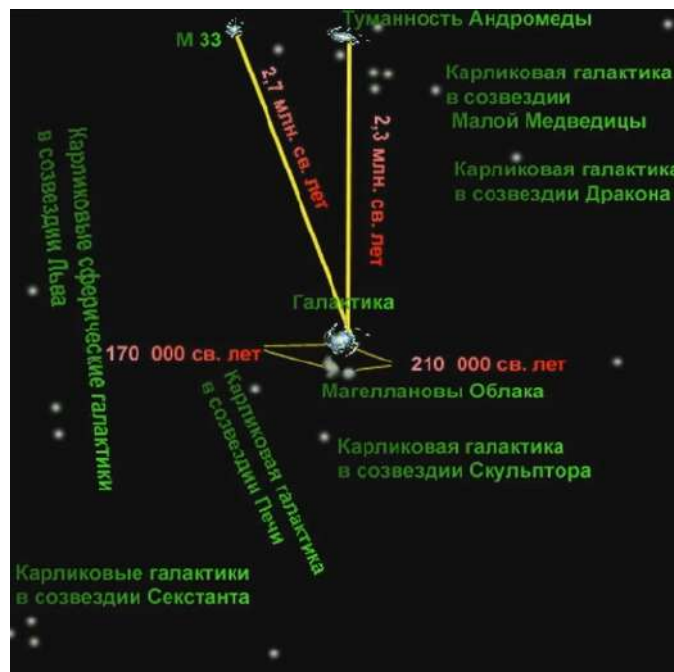


Рис. 2.2. Схема расположения галактик

Ученые предполагают столкновение Туманности Андромеды и нашей галактики и их слияние.

Группы (скопления) галактик, входящие в сверхскопления галактик, включают в себя свыше 90% всех существующих галактик. Занимают около 10% объёма пространства Вселенной.

Темная материя и темная энергия

Тёмная материя, тёмное вещество, скрытая масса - общее название совокупности объектов, недоступных прямым наблюдениям современными средствами астрономии, но наблюдаемых косвенно по гравитационным эффектам, оказываемым на

видимые объекты. Считается, что количество тёмной материи как минимум в 5 раз больше количества видимой.

Наблюдения сверхновых звезд, проведённые в 1998 г. в рамках Supernova Cosmology Project, показали, что происходит ускорение расширения Вселенной во времени (*инфляционный характер расширения*). Неизвестный в настоящее время фактор, способный вызвать такое расширение, получил название **темная энергия** (рис. 2.3).

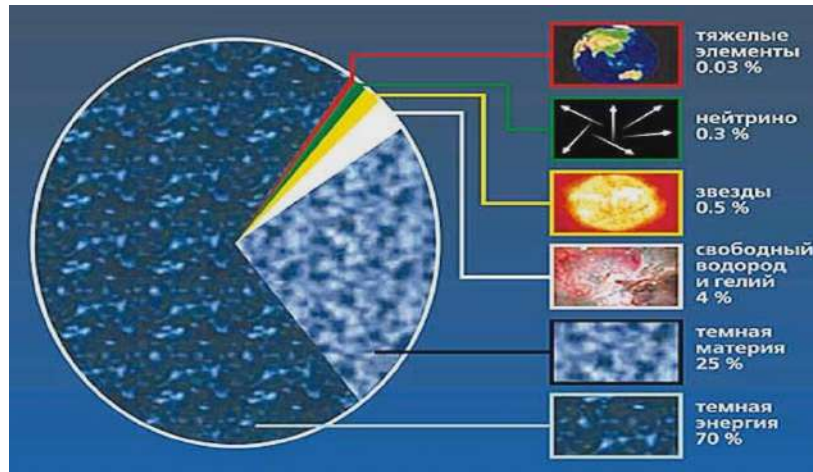


Рис. 2.3. Темная материя и темная энергия

Спиральные галактики являются самыми многочисленными - Галактика Млечного Пути, Туманность Андромеды (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Галактика Млечного Пути

В дисках спиральных галактик, выделяются *спиральные ветви или рукава*. Млечный Путь - спиральная галактика с перемычкой (баром).

Примером Эллиптической галактики является галактики M87, имеющая шарообразную форму и находящаяся в созвездии Девы (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Эллиптическая галактика M87

К *неправильным галактикам* относятся галактика Большое Магелланово Облако (рис. 2.6., сверху) и Галактика M82 (рис. 2.6., снизу) в созвездии Большой Медведицы. Материя в них не организована в определенную форму.



Рис. 2.6. Примеры неправильных галактик

2.2. Галактика Млечного Пути (ГМП)

Галактика Млечного Пути получила своё название благодаря тому, что представляет собой скопление облаков. Существует множество древнегреческих мифов, по одному из которых Геракла для приобретения бессмертия необходимо было испить молока Богини Геры. Его подложили к спящей Богине, но Гера проснулась и, оттолкнув младенца, расплескала молоко по небосводу, что и стало галактикой Млечного Пути.

Галактика Млечного Пути - гигантская спиральная галактика, в 3/5 расстояния от ее центра находится Солнце, которое совершает оборот вокруг центра ГМП за 220 ($\pm 10\%$) млн. лет со скоростью 240 км/с. ГМП обладает очень мощным магнитным полем.

Состав Галактики Млечного Пути

ГМП- линзовидный диск, окруженный *гало* (от греч. - нимб, ореол). Гало состоит из разреженного газа, старых (> 12 млрд. лет), неярких маломассивных звезд, шаровых скоплений звезд и темной материи (рис. 2.7).

Вблизи плоскости диска (диаметр ~ 100 тыс. св. лет) концентрируются молодые звезды и звездные скопления с возрастом не более нескольких млрд. лет.

В средней части диска находится утолщение, которое называется *балджем* (от англ. bulge), составляющее около 20 тыс. св. лет в поперечнике.

В центре Галактики предполагается черная дыра, массой $\sim 1 - 3$ млн. масс Солнца. Гравитация дыры заставляет соседние звёзды двигаться по необычным траекториям.

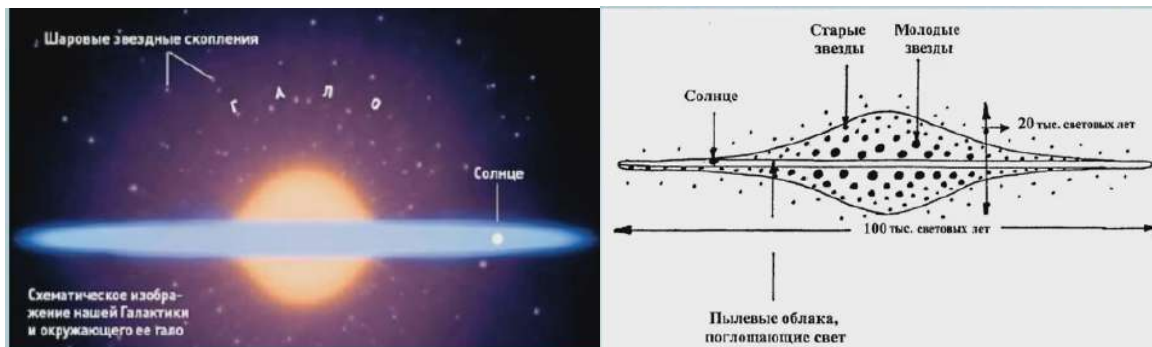


Рис. 2.7. Строение ГМП

В центре ГМП находится *перемычка* - ядро, от концов которого начинаются спиральные рукава. Чтобы понять, где находится центр галактики, необходимо посмотреть в сторону рукава Стрельца

Вдоль рукавов в основном сосредоточены самые молодые звезды, многие рассеянные звездные скопления, а также цепочки плотных облаков межзвездного газа, в которых продолжают образовываться звезды.

Население ГМП

- Звёзды и звёздные скопления
- Туманности
- Межзвёздный газ и межзвёздная пыль
- Космические лучи, гравитационные и магнитные поля

Чёрная дыра - область в пространстве и времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, и сам свет. При приближении к дыре объекты движутся со скоростями, приближающимися к скорости света. Если такой объект попадет за *горизонт событий*, то вырваться назад он уже не сможет. Считается, что черные дыры возможно являются переходами в другие вселенные.

Теоретически возможность существования таких областей следует из решений уравнений ОТО.

2.3. Звёзды и звёздные скопления

Всего звёзд в нашей Галактике от 200 до 400 миллиардов. Самые многочисленные звезды - карлики с массами значительно меньше массы Солнца.

В состав ГМП входят:

- Одиночные звезды – очень редки
- Двойные и кратные звезды
- Звездные скопления - группы звезд, связанные силами тяготения и движущиеся в пространстве как единое целое. Скопления делят на рассеянные и шаровые.

- Существуют еще такие интересные, малоизученные, объекты, как квазары и пульсары

На сегодняшний день ведутся споры о том, является Солнце одиночной звездой или двойной – с «сестрой» Немезидой.

Немезида (от греч. Nemesis - возмездие) - в древнегреческой мифологии крылатая богиня возмездия, карающая за нарушение общественных и нравственных порядков.

Немезида - гипотетическая звезда (красный карлик, белый карлик или коричневый карлик?). Предполагается, что она обращается вокруг Солнца на расстоянии 50-100 тысяч астрономических единиц, за пределами облака Оорта.

Предположение о существовании такой звезды было сделано для того, чтобы объяснить наблюдаемую периодичность массовых вымираний биоты на Земле, которые, по мнению некоторых учёных, происходят примерно каждые 26 миллионов лет.

Примером двойной звезды является звезда *Сириус* – *Сириус А* и *Сириус В* (рис. 2.8). Одна из пары звезд гораздо крупнее другой. Они вращаются вокруг единого центра масс.



Рис. 2.8. Двойная звезда Сириус

Звездные скопления

Звездные скопления могут быть рассеянными (рис. 2.9, А) и шаровыми (2.9, Б). Одиночные звезды встречаются редко.

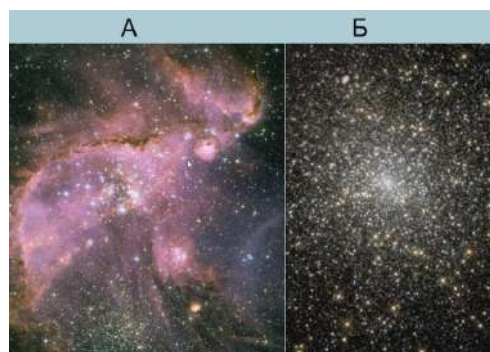


Рис. 2.9. Звездные скопления

Рассеянные звездные скопления имеют неправильную форму, в настоящее время известно более 1000 рассеянных звездных скоплений. В рассеянных скоплениях содержатся сотни или тысячи звезд. Звезды молодые, их возраст около 10 млн. лет.

Шаровые звездные скопления имеют форму, близкую к шару. Содержат сотни тысяч звезд. Это в основном красные и желтые гиганты и сверхгиганты, возраст которых 10 – 15 млрд. лет. В ГМП известно около 150 шаровых скоплений.

Квazarы

Квazar (англ. quasar) - астрономический объект, являющийся одним из самых ярких в Метагалактике. Термин quasar образован от слов quasi-stellar - похожий на звезду и radiosource - радиоисточник, то есть похожий на звезду радиоисточник.

Квazarы – активные ядра галактик на начальном этапе развития, сверхмассивная черная дыра, которая поглощает окружающее вещество, формируя аккреционный диск, вещество которого движется с близкой к световой скоростью. Он и является источником очень мощного излучения, которое иногда превышает суммарную мощность всех звёзд таких галактик, как наша, в 10-100 раз (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Квazar

Пульсары

Пульсар - космический источник радио- (*радиопульсар*), оптического (*оптический пульсар*), рентгеновского (*рентгеновский пульсар*) и/или гамма- (*гамма-пульсар*) излучений, приходящих на Землю в виде периодических всплесков - импульсов.

Пульсары представляют собой вращающиеся нейтронные звезды с магнитным полем, наклоненным к оси вращения звезды, что и вызывает «мигание» приходящего на Землю излучения (рис. 2.11).

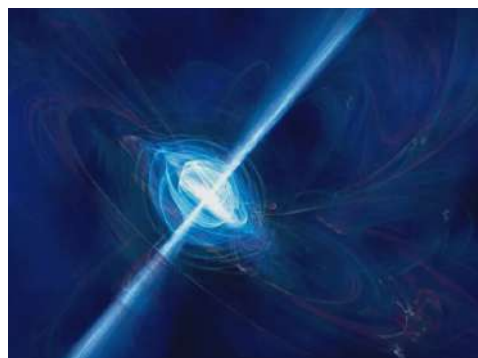


Рис. 2.11. Пульсар

2.4. Туманности

Туманности выглядят как туманные пятна, состоят из газа и пыли. Туманности неправильной, клочковатой формы называют *диффузными*. Туманности, имеющие правильную форму, напоминающую планеты, - *планетарными* (рис. 2.12, 2.13).



Рис. 2.12. Светлая диффузная туманность в созвездии Ориона

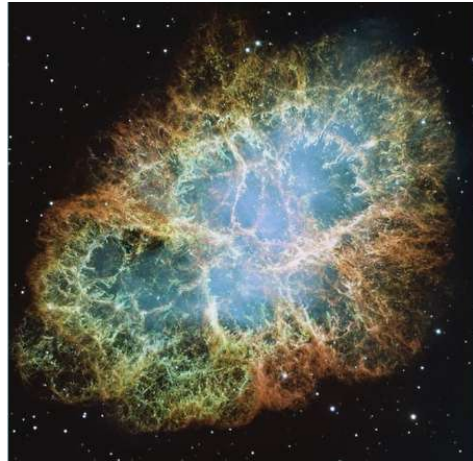


Рис. 2.13. Крабовидная газообразная туманность в созвездии Тельца образованная вспышкой сверхновой

Туманность Вуаль

Диффузная туманность Вуаль – туманность, волокна которой состоят из газа, располагается в созвездии Лебедя. Огромный и относительно тусклый остаток сверхновой. Звезда взорвалась примерно 5000 -8000 лет назад. Расстояние до неё составляет 400 св. лет (рис. 2.14).

Планетарная туманность в созвездии Орла

Состоит из газовой оболочки и центральной звезды - белого карлика (рис. 2.15). После взрыва звезды белый карлик теряет свои газовые оболочки. Такая судьба ждет и Солнце. Название туманности не означает, что из нее когда-либо будет образована планета.

Темная туманность

Тип межзвездного пылевого облака, настолько плотного, что оно поглощает видимый свет.



Рис. 2.14. Туманность
Вуаль



Рис. 2.15. Планетарная
туманность в созвездии Орла



Рис. 2.16. Темная
туманность - Туманность
Конская голова в
созвездии Ориона

Межзвёздный газ и межзвёздная пыль

Межзвёздный газ - это разреженная газовая среда, заполняющая всё пространство между звёздами. Межзвёздный газ прозрачен. Полная масса межзвёздного газа в Галактике превышает 10 миллиардов масс Солнца или несколько процентов суммарной массы всех звёзд нашей Галактики. Средняя концентрация атомов межзвёздного газа составляет менее 1 атома в см³.

Межзвездная пыль - примесь твердых микроскопических частиц в межзвездном газе. Полная масса межзвездной пыли составляет около 1% от массы газа. Размер частиц межзвездной пыли от 0.01 до 0.2 мкм.

Космические лучи, гравитационные и магнитные поля

Космическое пространство ГМП никогда не бывает пустым. Оно заполнено гравитационными и магнитными полями, пронизано космическими лучами.

Космические лучи - потоки электрически заряженных частиц, которые при движении в магнитных полях разогнались до скоростей, близких к скорости света, и приобрели огромную энергию.

2.5. Солнечная система (СС)

Наша Солнечная система находится на 3/5 расстояния от центра ГМП до ее края, в небольшом местном рукаве или шпоре Ориона, который соединён с двумя более крупными рукавами: внутренним - Стрельца и внешним - Персея.

Рукав Ориона - толщина приблизительно в 3500 световых лет, длина приблизительно 10000 световых лет.

Происхождение Солнечной системы

Этапы эволюции газопылевого облака имеют следующий порядок:

Первоначально были газопылевая туманность и звезда, ставшая затем сверхновой (> 4,7 млрд. лет) (рис. 2.17).

- Взрыв сверхновой, туманность попала в сферу действия сверхновой (4,7 млрд. лет).

- В выведенной из равновесия туманности начинаются процессы упорядочения, акреции вещества туманности и вращения.
- Центральное сгущение превратилось в Солнце, началось формирование планет (4,6-4,5 млрд. лет).

Небулярная гипотеза Канта-Лапласа-Шмидта

Формирование Солнечной системы началось около 4,7 млрд лет назад с гравитационного коллапса межзвёздного молекулярного газопылевого облака с последующим образованием в центре *протозвезды*, нашего будущего Солнца.

Вещество, не попавшее в центр, сформировало вращающийся вокруг него протопланетный диск - *пролид*, из которого формировались сначала сгустки вещества - *планетезимали*, а в дальнейшем *протопланеты* и затем планеты СС.

Коллапс, возможно, произошел в результате взрыва сверхновой звезды массой примерно 30 масс Солнца, после чего в космос попали тяжёлые и радиоактивные элементы. В 2012 году астрономы назвали эту сверхновую *Коатликуэ* - в честь ацтекской богини.

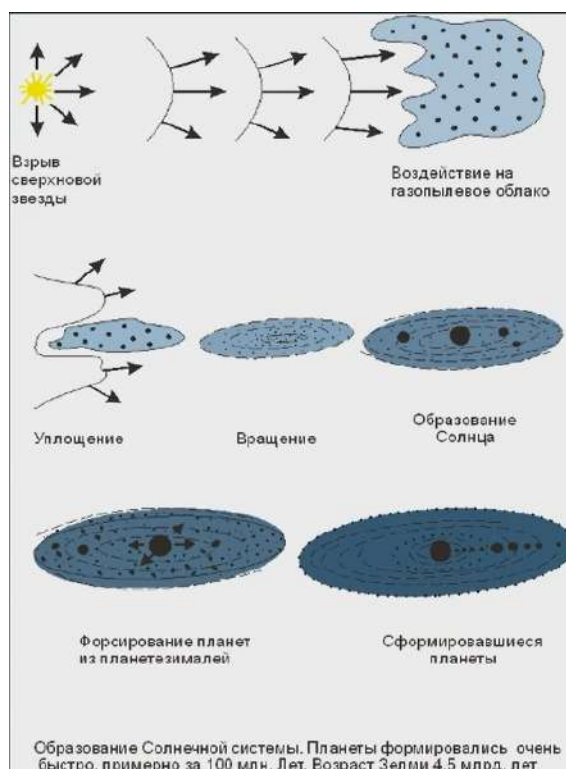


Рис. 2.17. Происхождение Солнечной системы

Объекты Солнечной системы

На сегодняшний день выделяется восемь планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун (рис. 3.1). Ранее к планетам относился Плутон. Орбита Плутона вытянута, раньше говорили, что Плутон – двойная планета. В своем движении Плутон вылетает за пределы Солнечной системы. По совокупности всех этих факторов

Плутон перевели в раздел *карликовых планет*. В разделах карликовых планет также попали крупные астероиды, такие, как Церера, Макемаке, Эрида.

Земля имеет один спутник (Луна). У Марса два спутника – *Фобос и Деймос*, у Юпитера 79 спутников. Наличие спутников у Нептуна обнаружили недавно. В связи с развитием техники было также открыто, что у Юпитера, Сатурна Урана и Нептуна есть кольца.

К *малым телам солнечной системы* относятся *астероиды*. Астероиды – объекты, подобные каменным планетам, таким, как Земля и Марс. Существует *главный пояс астероидов* – объекты вращаются по орбите между Марсом и Юпитером. Данный пояс астероидов разделяет планеты *Земной группы* (внутренние – Меркурий, Венера, Земля, Марс) и планеты группы Юпитера (внешние - Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун).

Транс-нептуновые объекты – объекты, расположенные за орбитой Нептуна (пояс Койпера, Рассеянный диск).

Место планеты Земля во Вселенной

Земля - Солнечная система (СС) - Пояс Ориона - Галактика Млечного пути (ГМП) - Местная Группа галактик (МГ) - Местное сверхскопление галактик - наблюдаемая Вселенная (Метагалактика) – **Вселенная**

Лекция 3. Солнечная система

3.1. Объекты Солнечной системы

		Солнечная система			
		Планеты ☾ = спутник(и) ∅ = кольца	Меркурий	Венера	Земля ☾
	Юпитер ☾	Сатурн ☾	Уран ☾ ∅	Нептун ☾	
	∅	∅		∅	
	Карликовые планеты	Церера	Плутон ☾	Макемаке	
				Эрида ☾	
Солнце • Гелиосфера Гелиопауза	Малые тела Солнечной системы	Астероиды (малые планеты)	Группы и семейства: Главный пояс астероидов · Астероиды, сближающиеся с Землей · Троянские астероиды · Кентавры · Троянцы Нептуна · Спутники астероидов · Метеороиды		
		Транс-нептуновые объекты	Пояс Койпера : <i>Идутино</i> · <i>Орк</i> · <i>Иксион</i> · <i>Кьюбивано</i> : 2002 UX ₂₅ · <i>Варуна</i> · 1992 QB ₁ · 2002 TX ₃₀₀ · 2003 EL ₆₁ · <i>Квавар</i> · 2002 AW ₁₉₇		
			Рассеянный диск : 2002 TC ₃₀₂ · 2004 XR ₁₉₀ · <i>Седна</i>		
		Кометы	Списки короткопериодических и долгопериодических комет · Дамоклоиды · Облако Оорта		

Рис. 3.1. Схема строения Солнечной системы

Объекты Солнечной системы (СС)

Солнечная система (СС) - планетная система, включающая в центральную звезду - *Солнце* - и все естественные космические объекты, вращающиеся вокруг неё.

Солнце – звезда, относящаяся к желтым карликам. Солнечная система включает:

- Солнце
- 8 больших планет (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер)
- несколько десятков их спутников (в настоящее время известно более 170),
- несколько карликовых планет,
- малые тела СС: - астероиды (~100 тысяч), транснептуновые объекты, кометы (~1011 объектов), огромное количество мелких фрагментов - метеороидов, а также космическая пыль и лучи (пояс Койпера, Рассеянный диск, Облако Оорта).

Все эти объекты объединены в общую систему силой притяжения Солнца (рис. 3.1, 3.2). Средняя плотность тел Солнечной системы изменяется от 0,5 г/см³ - ядра комет, до 7,7 г/см³ - металлических астероидов и метеороидов.

За пределами орбиты Нептуна вокруг солнечной системы расположены пояс Койпера и облако Оорта (рис. 3.3). Орбиты объектов в поясе Койпера имеют вытянутую форму и больше соответствуют орбитам комет – пояс Койпера является «поставщиком» комет. Пояс Койпера имеет размеры порядка 30-55 а.е.

Облако Оорта – это гипотетическая зона, материал которой представляет собой скопление небольших ледяных тел. Облако Оорта достигает размеров порядка 50000-100000 а.е.

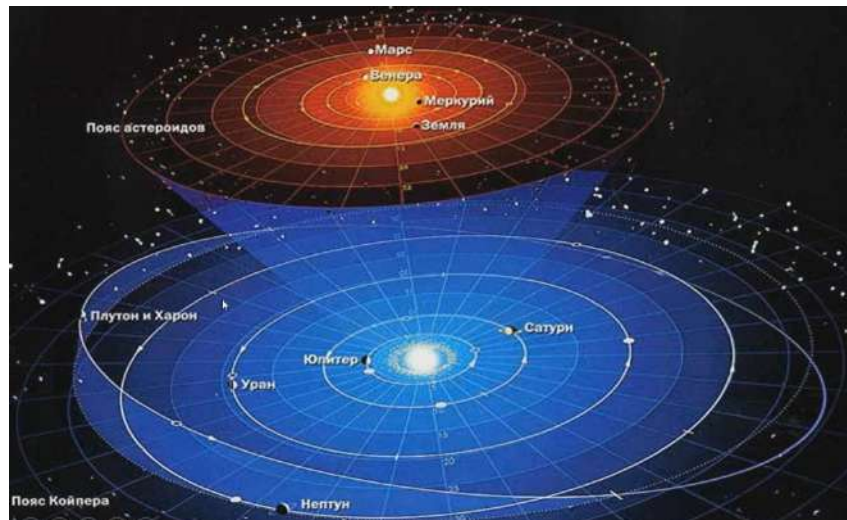


Рис. 3.2. Современное представление о строении СС

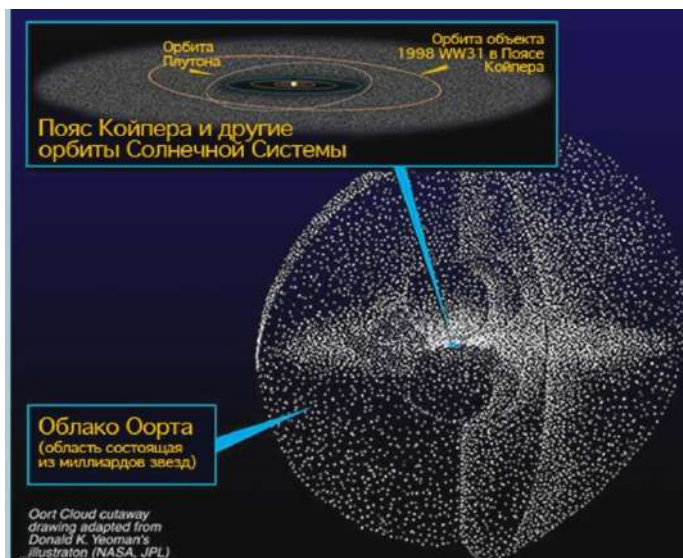


Рис. 3.3. Современное представление о строении СС

Размеры Солнечной системы

- от Солнца до орбиты Земли – 1 а.е.
- до орбиты Нептуна - 30 а.е.
- до орбиты Плутона - 40 а.е.
- до внешней границы пояса Койпера ~ 55 а.е.
- до внешней границы облака Оорта ~ 100 000 а.е.

Также выделяется *рассеянный пояс (диск)*. Считается, что он является поставщиком долгопериодических комет, а не облако Оорта. Размеры СС простираются до границы влияния Солнца.

3.2. Солнце, основные параметры, строение, возможное будущее Солнца

Основные параметры

Звезда по имени Солнце - центральная и единственная звезда Солнечной системы. Масса Солнца составляет 99,8% массы СС, диаметр Солнца - 1392 тыс. км. Солнце состоит из Н (~ 73%), Не (~ 25%), на долю других 67 элементов приходится 2% от массы.

Средняя плотность составляет 1,4 г/см³. По спектральной классификации Солнце относится к типу G2V - *желтый карлик*. Источником энергии звезды является *термоядерный синтез Не из Н*. Солнце вращается вокруг центра Галактики, делая один оборот за 225-250 млн. лет, со скоростью $V = 217$ км/с.

По сравнению с известными крупными звездами, Солнце имеет крошечные размеры (рис. 3.4).

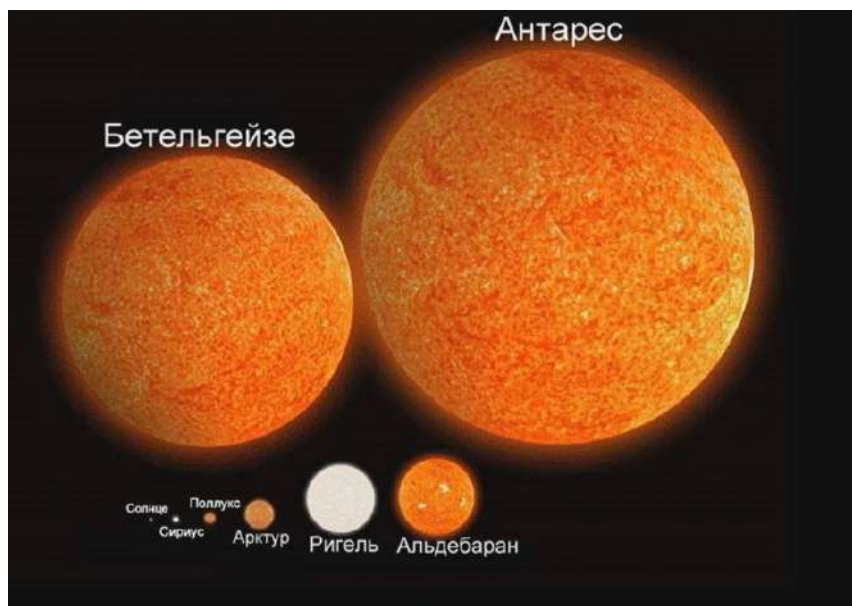


Рис. 3.4. Сравнение Солнца с другими звездами

Антарес - ярчайшая звезда в созвездии Скорпиона - сверхгигант класса М, с диаметром примерно в 700 раз больше солнечного. Если бы он находился на месте Солнца, его размеры превышали бы орбиту Марса. Антарес удален от Земли примерно на 600 св. лет.

Излучение Солнца

Спектр излучения света Солнца - смесь различных длин волн. Так, *инфракрасное излучение* имеет диапазон длин волн от 1400 нм до 1 мм, *видимый свет* с длиной волны от 400 до 700 нм и т.д.

Солнечная радиация измеряется суммарной мощностью переносимой ею энергии на единицу площади поверхности (Вт/м²) за единицу времени.

Солнечная постоянная - суммарная мощность солнечного излучения, проходящего через единичную площадку, ориентированную перпендикулярно потоку, на расстоянии 1 а.е. от Солнца. На Земле Солнечная постоянная имеет величину 1376 Вт/м²/с.

Солнечное излучение делят на *электромагнитное и корпускулярное*:

Электромагнитная составляющая распространяется со скоростью света и проникает в земную атмосферу. Спектральный диапазон - от радиоволн до рентгеновских лучей, максимум интенсивности приходится на видимую часть спектра.

Корпускулярная часть солнечной радиации состоит преимущественно из солнечного ветра, движущегося от Солнца со скоростями 300 – 1500 км/с и космических лучей. Эти частицы задерживаются магнитным полем Земли или поглощаются ее атмосферой.

Солнце излучает волны в очень широком диапазоне - начиная с радиоволн и заканчивая гамма-лучами. *Электромагнитные волны поглощаются атмосферой Земли тем сильнее, чем меньше их длина.* Через атмосферу свободно проходят только видимый свет и тепловое излучение.

Земля получает половину миллиардной доли излучения Солнца (рис. 3.5). Тепло и свет Солнца оказывают огромное влияние на процессы на поверхности Земли: климат, гидрогеологические циклы, выветривание, эрозию. Они создают пригодные для жизни условия.



Рис. 3.5. Распределение солнечной энергии

Строение Солнца

В атмосфера Солнца входит (рис. 3.6):

- Солнечный ветер - поток плазмы; вещество, отделяемое от Солнца и улетающее на огромные расстояния.
- Корона - самая внешний слой атмосферы, имеет очень большую протяженность. Граница - вся Солнечная система.
- Хромосфера – внешняя оболочка толщиной ~ 10 - 15 тыс. км.
- Фотосфера - слой, испускающий свет, толщина которого 200-300 км.
- Протуберанцы – выбросы солнечной плазмы, могут втягиваться гравитационным полем Солнца или истекать в пространство.

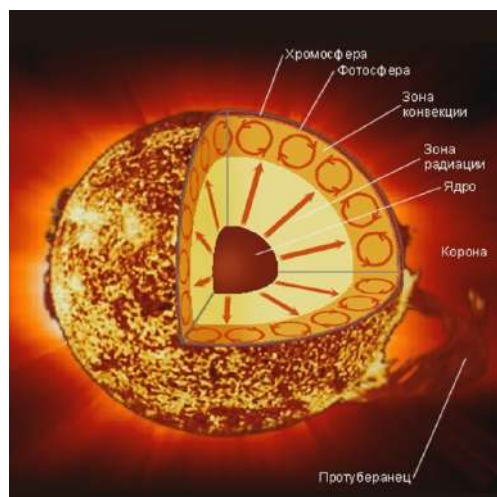


Рис. 3.6. Строение Солнца

Солнечный ветер и корона

Корона - самый внешний слой атмосферы Солнца. Температура составляет порядка 2 млн К, макс. до 20 млн. к. Корона прослеживается на расстояние до 12-15 млн. км (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Корона

Солнечный ветер - поток ионизированных частиц (плазмы), в основном протонов, электронов и γ - частиц, имеющий скорость от 1200 до 300 км/с (около орбиты Земли) и распространяющийся до границ гелиосферы.

Хромосфера

Хромосфера – это внешняя оболочка Солнца. Толщина ее составляет 2000 км. Температура достигает от 5700 до 20 000 К. Красный цвет связан с доминированием спектра водорода.

Нижняя хромосфера достигает мощности до 1500 км, состоит из водорода.

Верхняя хромосфера представлена *спикулами* - вытянутыми (до 10 тыс. км), наклонно торчащими струями газа (ионизированный водород, гелий, литий). Возможно одновременное присутствие до 60-70 тыс. спикул.

Плотность и мощность хромосферы невелики, поэтому яркость её недостаточна, чтобы наблюдать её в обычных условиях. Но при полном солнечном затмении, когда Луна закрывает яркую фотосферу, расположенная над ней хромосфера становится видимой и светится красным цветом (рис. 3.8).

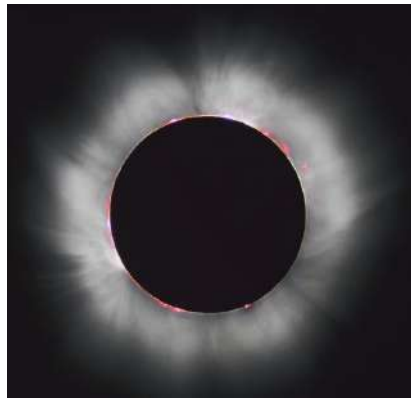


Рис. 3.8. Солнечное затмение 1999 г. Хромосфера видна в виде тонкой розовой полоски вокруг диска Луны

Фотосфера

Фотосфера – это видимая поверхность Солнца, основной источник света и тепла. Ее температура (Т) достигает от 4400 до 6600 К. По фотосфере определяют размер Солнца. Мощность ее составляет от 100 до 400 км.

Фотосфера имеет гранулированную структуру за счет светлых горячих конвективных ячеек. Наблюдаются области пониженной Т (до 3700К) - *солнечные пятна*.

Здесь рождаются *протуберанцы* (от лат. *protuberans* - вздуваюсь) - плотные выбросы относительно холодного (по сравнению с короной) вещества, до 25000 К, которые поднимаются и удерживаются над поверхностью Солнца магнитным полем.

Солнечные пятна и факелы

Солнечные пятна фотосферы - области пониженной светимости Солнца. Температура плазмы в центре солнечного пятна понижена до примерно 3700 К.

Солнечные пятна - области очень сильного магнитного поля, превышающего магнитное поле Земли в тысячи раз. Чаще всего пятна формируются в виде двух групп. Поле одной группы имеет положительную полярность, а другой – отрицательную (рис. 3.9).

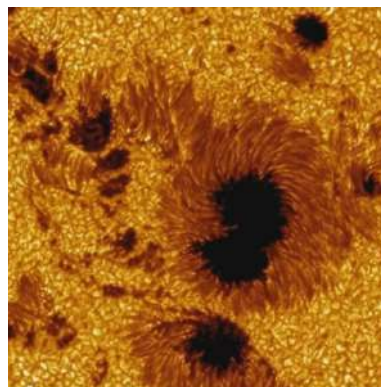


Рис. 3.9. Пятна на Солнце - места «пробоя» фотосферы активными магнитными полями. Поле зрения ~ 120 000 км²

Факелы

Факелы – участки фотосферы повышенной яркости. Факелы, как и солнечные пятна, являются областями повышенного магнитного поля. Факелы часто предшествуют образованию солнечных пятен, или наблюдаются после их распада (рис. 3.10).

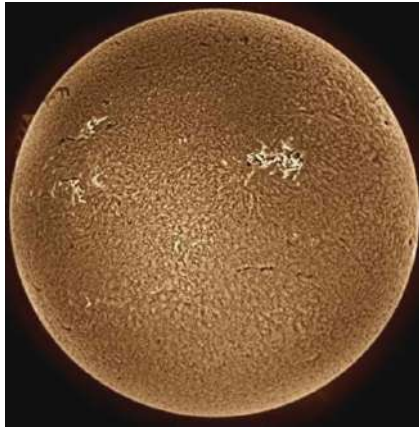


Рис. 3.10. Факелы

При приближении максимума цикла солнечной активности число факелов и пятен на поверхности Солнца растет.

Гранулы фотосферы

Гранулы - ячейки неправильной формы (размером около 1000 км), которые покрывают всю фотосферу Солнца, за исключением солнечных пятен.

Образование гранул вызвано перемешиванием плазмы. Потoki вещества в зоне конвекции формируют колонны. Гранулы являются вершинами этих колонн. Они и образуют зернистую структуру (рис. 3.11).

Гранулы живут около 20 минут, поэтому сетка грануляции постоянно меняет свой вид. Потoki вещества внутри гранул могут достигать сверхзвуковых скоростей и производить звуковые "удары", вызывающие волны на поверхности Солнца.

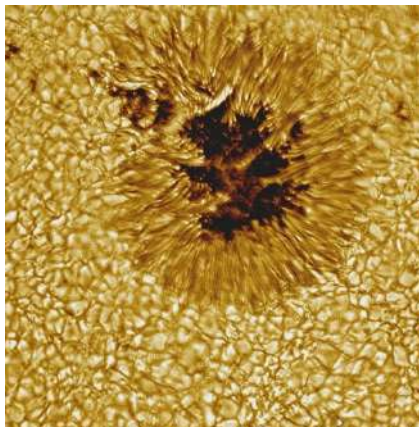


Рис. 3.11. Темное пятно, окруженное гранулами

Глубинное строение Солнца

Глубинное строение Солнца в настоящее время изучается при помощи новой науки - *гелиосейсмологии*, изучающей колебания Солнца. Строение имеет следующий вид:

1. *Зона конвекции* до глубины ~200 тыс. км. Зона переноса энергии к поверхности за счёт вихревого перемещения плазмы. Температура составляет ~ 2-5,7 млн. К.
2. *Зона радиации* – зона лучистого переноса энергии с помощью переизлучения фотонов. $T \sim 2-7$ млн. К.
3. *Ядро* - центральная часть радиусом ~ 150-175 тыс. км, где идут термоядерные реакции. $T > 14$ млн. К (рис. 3.12).

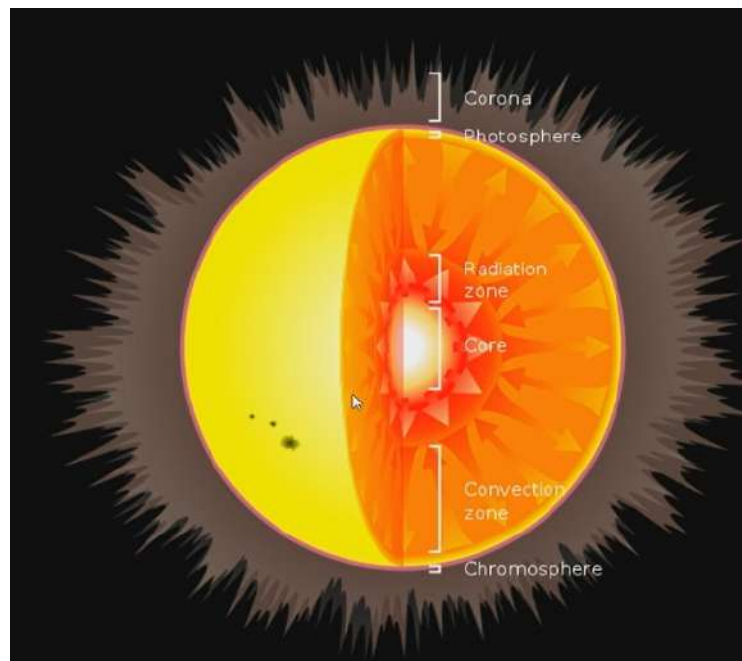


Рис. 3.12. Глубинное строение Солнца

Гелиосфера

Гелиосфера - область влияния Солнца, околосолнечное пространство, в котором плазма солнечного ветра движется со скоростью более тысячи км/с (первые десять млрд. км), скорость на уровне орбиты Земли - около 400 км/с. По мере столкновения с межзвёздной средой, происходит торможение ветра и смешение с ней. По современным представлениям, гелиосфера простирается на 100-150 а.е.

Граница, вдоль которой уравнивается давление солнечного ветра и межзвёздной среды, называется *гелиопауза*. Т.е. в гелиосфере магнитное поле Солнца, а также солнечный ветер доминируют над межзвёздными излучениями, а на ее границе энергия частиц солнечного ветра падает до уровня излучения космических лучей.

Солнечный ветер оказывает *воздействие на внешнее магнитное поле Земли (магнитосферу)*, которое сплющивается со стороны Солнца и вытягивается на многие миллионы километров в сторону, противоположную Солнцу (рис. 3.13).

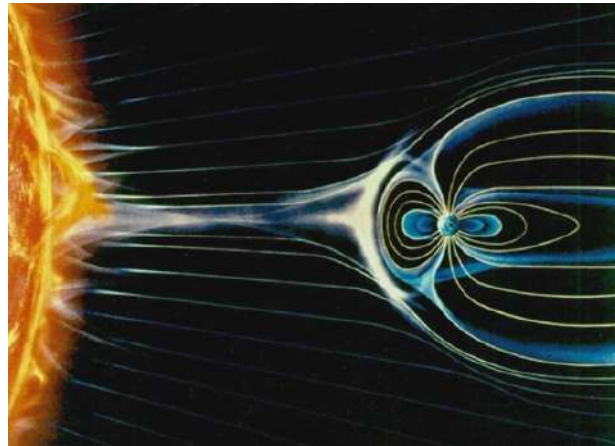


Рис. 3.13. Воздействие солнечного ветра на магнитосферу Земли

Магнитосфера обеспечивает защиту, без которой жизнь на Земле не могла бы существовать. Марс и Венера, магнитное поле которых очень мало, потеряли значительную часть своих бывших океанов и атмосферы за счет прямого воздействия солнечного ветра.

Возможное будущее Солнца

Существует множество схем гибели звезд. Жизнь звезды во многом зависит от ее размеров.

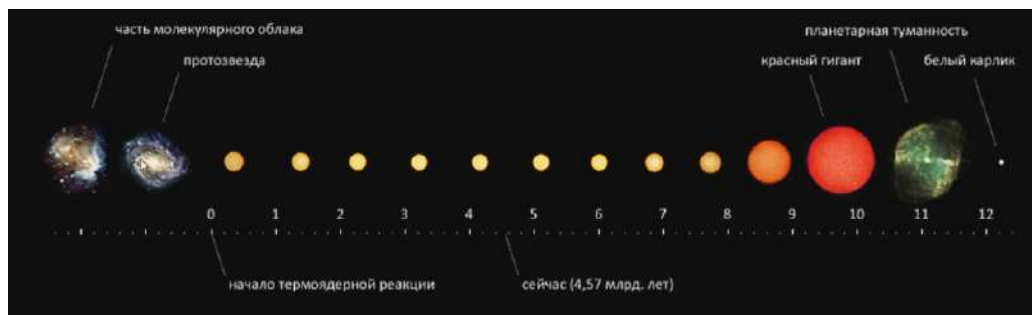


Рис. 3.14. Жизненный цикл Солнца

Сценарий жизни звезд типа желтый карлик обычно имеет следующий вид (рис. 3.14). От взрыва Сверхновой или от закручивания газо-пылевой туманности загорается Солнце. От настоящего момента запас жизни Солнца составляет около 5 млрд. лет. После прохождения реакций, которые соединят Н в He, у Солнца «закончится топливо», оно начнет испускать газовую оболочку, начнет расширяться. Часть газа будет выходить в пространство. На месте Солнца возникнет красный гигант – все живое на Земле сгорит. Затем, на месте красного гиганта возникнет планетарная туманность, далее – белый карлик.

3.3. Планеты Солнечной системы

Большую долю в массе планет Солнечной системы составляет Юпитер (71,16%) и Сатурн (21, 31%).



Рис. 3.15. Планеты внутренней группы

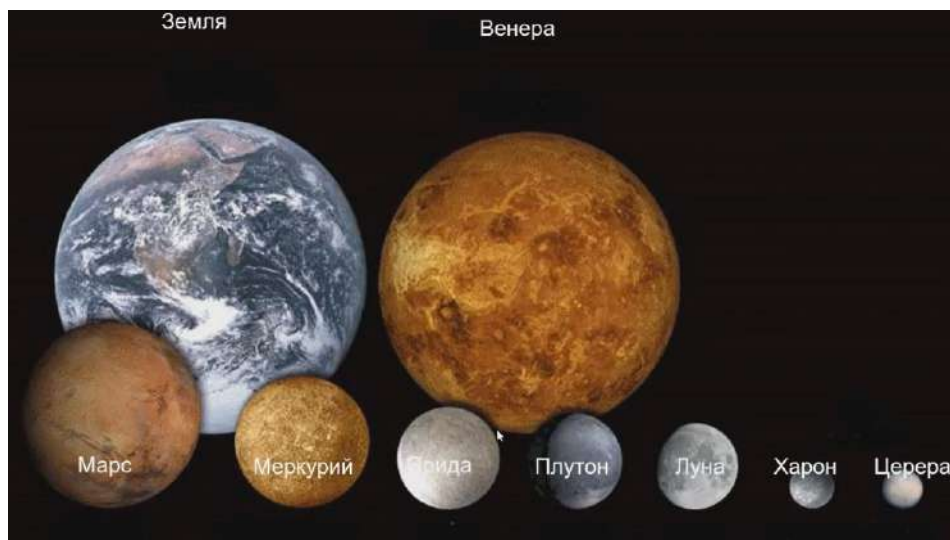


Рис. 3.16. Сравнительный размер внутренних планет

Внутреннее строение планет земной группы

Данные планеты состоят из твердого (каменного материала). В их строении выделяются *кора, мантия и железное ядро* (рис. 3.17). Известен рельеф поверхности планет земной группы, он очень схож с рельефом Земли.

На всех планетах земной группы можно наблюдать многочисленные следы метеоритных бомбардировок.

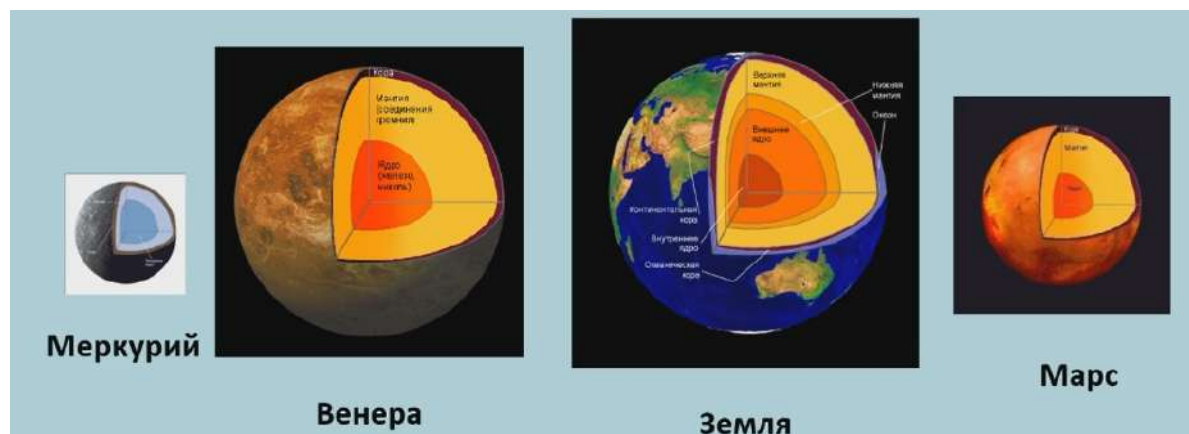


Рис. 3.17. Внутреннее строение планет земной группы

Меркурий

Радиус Меркурия составляет 2440 км. У планеты нет атмосферы и нет спутников, что объясняется близким положением к Солнцу – Солнце выжгло атмосферу и перетянуло его спутники. Ось вращения практически не наклонена. Период обращения составляет 88 земных суток (меркуриаский год), период вращения вокруг своей оси - 58,6 сут. Температура на планете колеблется от 80 до 700 К (от -190 до +430 °С).

Венера

Радиус Венеры составляет 6052 км, температура на поверхности - 735 К (462 °С); У планеты очень плотная атмосфера, состоящая из CO₂ и паров серы. Давление на поверхности Венеры составляет 92 земных атмосферы.; Угол наклона оси - 3,4° (отн. эклипти.); Период вращения - 224 сут., период обращения 584 сут. На Венере существуют пониженные участки, называемые *морями*, и повышенные – Вулкан Маат, Земля Иштар.

Венера по параметрам похожа на Землю. Атмосфера Венеры самая плотная среди внутренних планет. Она прозрачна для дециметровых радиоволн, с помощью которых и был исследован рельеф. Мало метеоритных кратеров. Возможен вулканизм.

Земля

Состоит из земной коры, верхней и нижней мантии, и внешнего (жидкого) и внутреннего (твердого) ядра. Экваториальный радиус Земли составляет 6378,160 км, *средний* – 6371 км. Длина экватора составляет примерно 40 тыс. км. Средняя плотность Земли – 5,5 г/см³.

Марс

Радиус Марса составляет 3389 км, - от -153 °С до +35 °С. Атмосфера имеет следующий состав: CO₂-95%, азот -2,7%, аргон. Давление от 4*10⁻³ до 8,7*10⁻³ атм. Угол наклона оси - 25,2° (отн. эклиптики); Период вращения - 24 час. 39 мин. Период обращения - 686 суток.

На Марсе, как и на Земле, существуют *полярные шапки*. В этих льдах, в том числе и в кратерах, был обнаружен водяной лед. Таким образом на Марсе была обнаружена вода.

Самый высокий вулкан среди планет Солнечной системы – вулкан Олимп, расположен на Марсе. Его высота составляет 26-28 км.

Долины Маринер имеют длину 4500 км (четверть окружности планеты), ширину около 600 км и глубину до 11 км.

На планетах земной группы наблюдаются ударные процессы, в особенности они ярко выражены на Марсе и Меркурии. Также наблюдаются поверхностные (экзогенные процессы) – эоловые (на Земле – барханные гряды в пустынях) и эрозионные.

Внешние планеты – планеты-гиганты

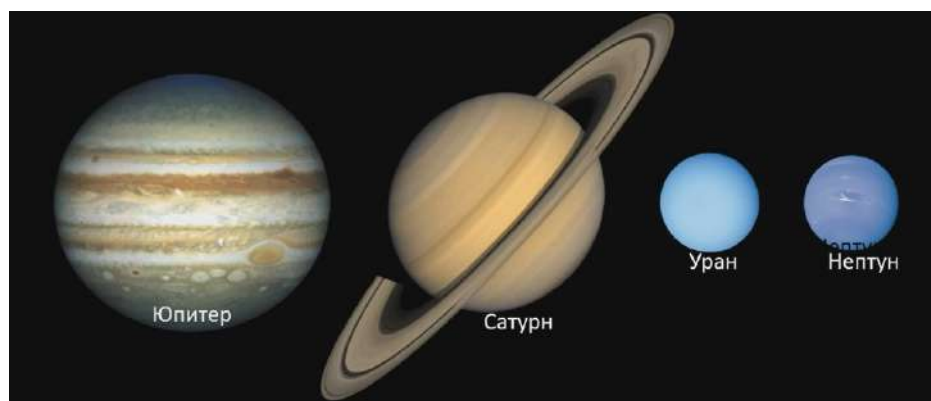


Рис. 3.18. Внешние планеты

Внешние планеты являются существенно газовой-жидкими, газ в них может быть в замерзшем состоянии (рис. 3.19). И только ядра этих планет, возможно, могут быть каменными.

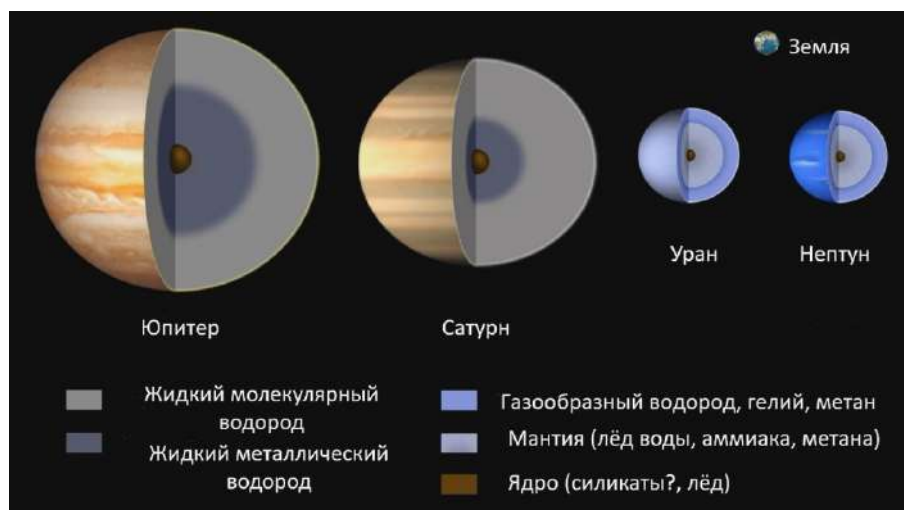


Рис. 3.19. Внутреннее строение планет-гигантов

Юпитер и Сатурн не имеют четко выраженной поверхности, поскольку сверху расположен слой жидкого молекулярного водорода. Это вызывает сложности в посадке летательных аппаратов на поверхности этих планет.

Юпитер

Радиус планеты составляет 142780 ± 5 км, средняя температура = -108 °С. Атмосфера Юпитера имеет следующий состав: H_2 - 89,8%, He - 10,2%, метан- 0,3%, вода - 0,0004%, нет четкой границы. Для Юпитера характерно обилие мощных вихрей. Давление от 1 до 10 бар, T-110 К. Угол наклона оси - $3,13^\circ$ (к эклиптике). Период обращения составляет 11,9 года, период вращения - 9 ч.50 мин. В настоящее время известно 79 спутников и система пылевых колец Юпитера.

Сатурн

Радиус планеты составляет $69\,911 \pm 6$ км, средняя температура = -145 °С. Атмосфера состоит из H_2 - 96%, He - 3%, метан- 0,4%, нет четкой границы. Для Сатурна также характерно обилие вихрей. Давление на поверхности планеты составляет от 1 до 10 бар, T-110 К. Угол наклона оси - $26,7^\circ$ (к эклиптике). Период обращения - 29,4 года, период вращения - 10 ч.34 мин. Радиус колец Сатурна составляет от 70 тыс. км до 13 млн. км, ширина от 7 до 25 тыс. км. В настоящее время у Сатурна известно 62 спутника.

Уран

Уран - ледяной гигант. Атмосфера планеты состоит из водорода и гелия, есть следы метана и др. углеводородов. Планета состоит из водного, метанового и аммиачного льда. Недра сложены льдом и каменным материалом. Самая холодная планета и атмосфера СС с минимальной температурой, равной 49 К (-224 °С).

Уран имеет сложное слоистое строение облаков, где вода – нижний слой, а метан - верхний.

Радиус планеты составляет 25 360 км, период вращения - 17 часов, период обращения - 84 года. Наклон оси составляет $97,8^\circ$; T ср.= -220 °С. На Уране есть тепловой поток, возможно существование в недрах воды.

В настоящее время известно 27 спутников, Самые крупные - Титания и Оберон. Есть 13 колец более молодых, чем планета.

Нептун

Нептун - ледяной гигант. Атмосфера Нептуна включает водород и гелий, метан, возможно азот. На планете бушуют сильные штормы. Угол наклона оси - $28,3^\circ$. Радиус планеты составляет 24 622 км; T ср.= -201 °С. Период обращения - 184,8 г., период вращения - 16 часов.

Планета покрыта льдом из воды, метана и аммиака. Недра сложены льдом и каменным материалом. В настоящее время известно 14 спутников и система колец.

Карликовые планеты

Плутон - крупнейшая известная карликовая планета СС, транснептуновый объект. Десятое по массе (без учёта спутников) небесное тело, обращающееся вокруг Солнца - после восьми планет и Эриды (Зены). Средний радиус составляет 1188 км, что в 6 раз меньше Луны. Температура на поверхности равна -229 °С.

Первоначально Плутон считали девятой классической планетой, но сейчас (с 2006 г.) он считается карликовой планетой и крупнейшим объектом пояса Койпера.

Плутон имеет один крупный спутник (Харон) и четыре маленьких - Никта, Гидра, Стикс и Кербер.

Эрида (Зена)

Вторая по размеру после Плутона и наиболее удаленная от Солнца карликовая планета с сильно вытянутой эллиптической орбитой, транснептуновый объект.

Самый крупный объект пояса Койпера. Средний радиус Эриды составляет 1163 км, средняя Т поверхности около - 20 К (-253 С°). Масса Эриды равна $1,67 \cdot 10^{22}$ кг, что в 350 раз меньше массы Земли.

Церера

Самая маленькая из известных карликовых планет. Орбита Цереры лежит между Марсом и Юпитером в поясе астероидов. Церера имеет форма сфероида размером 975x909 км. Средняя температура на планете равна -106С°. Масса Цереры в 6000 раз меньше массы Земли.

Почти все тела Солнечной системы вращаются с запада на восток, кроме Венеры – она вращается в обратную сторону. Кроме того, у всех планет есть свой угол наклона оси, Уран же лежит на своей орбите. Солнце вокруг своей оси, планеты вокруг Солнца и вокруг своей оси, спутники вокруг планет и т.д.

Венера является самой горячей планетой, поскольку она имеет наиплотнейшую атмосферу. За Венерой идут Меркурий, Земля и Марс. Температура на Земле и на Марсе очень похожа. Самой холодной планетой является Уран и Нептун.

3.4. Спутники планет

Луна

Луна является менее плотной, чем Земля. Одна из последних концепций об образовании Луны гласит, что на заре образования Земли (порядка 4 млрд лет назад) в нее врезался небольшой объект – Тея. Этот объект был поглощён Землей, при этом верхняя оболочка Земли была расплавлена и выброшена в космос. Оказавшись на орбите Земли, она стала закручиваться и вращаться вокруг планеты. Так образовалась Луна. Это объясняет, почему Луна имеет меньшую плотность – ядро Земли более плотное, чем ее верхние оболочки.

Ну Луне выделяются моря (условные) и континенты. Континенты более избиты метеоритами, моря – более гладкие и молодые, поскольку, возможно, они были залиты лавой.

Луна отдаляется от Земли со скоростью 4 см/год. Считается, что, если бы не было Луны, жизни на Земле бы тоже не было, поскольку Луна выступает в роли стабилизатора, когда вращается вокруг Земли, и, также, Луна ответственна за приливы и отливы на поверхности Земли. Когда образовались моря и океаны, отливы и приливы

позволяли воде растворять часть минеральных пород, обогащаться компонентами, что позволило достичь определенных химических концентраций и зародиться жизни.

Ио, спутник Юпитера – на нем находятся вулканы. Выброс вулканического вещества осуществляется на несколько сотен километров. Вулканическое вещество представляет собой серу.

Спутник Юпитера Европа - характерна ледяная корка.

Спутник Нептуна Тритон - крупнейший спутник Нептуна имеет каменно-металлическое ядро и поверхность сложенную льдом из воды и азота. Струи - извержения криовулканов, продукты извержения - жидкий и твердый азот. Извержения, вероятно, происходят под воздействием гравитации.

3.5. Малые тела СС

Астероиды – малые каменные планеты. В Солнечной системе насчитывается десятки тысяч астероидов. В основном они сосредоточены в главном поясе астероидов. На происхождение главного пояса астероидов есть несколько точек зрения: это несформировавшаяся планета; это бывшая планета, разорванная тяготением Юпитера и Солнца. Большинство ученых склоняются к первому варианту.

Для нас это может быть угрозой, поскольку орбита Земли находится в главном поясе астероидов. Сегодня существуют различные способы борьбы с падением астероидов на Землю – от ядерных взрывов до космических кораблей, уводящих тела из опасной зоны.

3.6. Транснептуновые объекты



Рис. 3.20. Крупнейшие из известных транснептуновых объектов (ТНО)

Транснептуновые объекты – объекты за пределами орбиты Нептуна. Самый изученный и близкий к нам – *Пояс Койпера*.

Пояс Койпера (>30-55а.е.) открыт в 1992 г. Состоит из малых тел, сложенных льдом метана, аммиака и воды. В этой же области ближнего космоса находятся по,

крайней мере, четыре карликовые планеты: Плутон, Хаумеа, Макемаке и Эрида. В поясе Койпера известно более 1 тысячи объектов и предполагается еще 70 тысяч.

Рассеянный диск и Облако Оорта

Рассеянный диск - удалённый регион СС, заселённый малыми телами изо льда. Объекты рассеянного диска (SDO, scattered disc object) – транснептуновые объекты (ТНО). Внутренняя область диска частично перекрывается с поясом Койпера, внешняя пролегает гораздо дальше, выше и ниже плоскости эклиптики. Рассеянный диск – это источник короткопериодических комет.

Облако Оорта - гипотетическая область СС, его объекты также состоят из ледяных тел. Источник долгопериодических комет.

3.7. Метеориты

Метеориты – попавшие на Землю астероиды. *Метеор* – парящий. Находясь в атмосфере Земли, тело называется метеором. Приземлившись - метеоритом.

По составу метеориты делятся на:

- каменные (92,8 % находок),
- железо-каменные
- железные.

Среди каменных выделяют *хондриты* (85,7 % находок) и *ахондриты*.

Астроблемы – древние метеоритные кратеры (дословно – звездные раны). Одним из самых известных является кратер Барингера в Аризоне.

Строение астроблем предполагает наличие метеоритного вещества. *Импактиты* - метаморфические породы, образующиеся в результате ударного (импактного, от англ. impact - ударять) изменения горных пород.

3.8. Кометы

Кометы – *хвостатые звезды*. Кометы имеют следующее строение (рис. 3.21):

- Ядро - твёрдые частицы и лёд.
- Кома - оболочка из газа и пыли.
- Хвост - смесь разреженного газа и пыли

Хвост кометы (точнее – два хвоста) появляется при приближении ее к Солнцу, поскольку солнечный ветер сдувает *газовый хвост кометы*, при этом по орбите ложится *пылевой хвост кометы*, состоящий из материальных частиц.

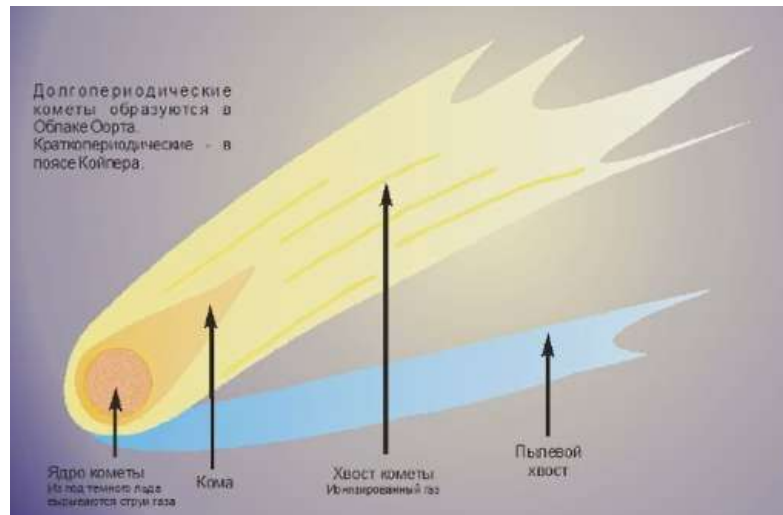


Рис. 3.21. Строение кометы

Кометы делятся на коротко - периодические (с периодом обращения менее 200 лет) и длиннопериодические (с периодом более 200 лет). Так, Комета Галлея прилетает раз в 76 лет. Последний раз она прилетала 12 марта 1986г.

Комета Шумейкеров-Леви 9

Короткопериодическая комета, открыта в 1993 г. в виде цепочки фрагментов. В 1992 году она была разорвана силой притяжения Юпитера. В июле 1994 г. стала первым небесным телом, чье падение на Юпитер было зафиксировано астрономами. Этот случай стал первым наблюдавшимся столкновением двух небесных тел СС.

Лекция 4. Форма и строение Земли

4.1. Форма и размеры Земли. Древние представления об устройстве мира

За 3 тысячи лет до нашей эры в Шумере (Месопотамия) Земля представлялась в виде плоского диска, лежащего посреди безграничного океана.

Мир в представлении древних египтян выглядел следующим образом (рис. 4.1).

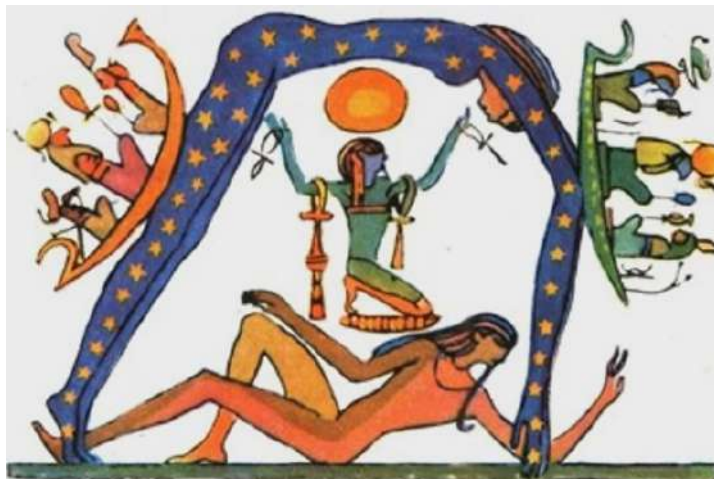


Рис. 4.1. Мир в представлении древних египтян

Внизу - лежащий Геб, олицетворяющий землю; сверху - Нут, олицетворяющая небо; между ними - Маат, олицетворяющая разумное начало, управляющая равновесием мира; две лодки, плывущие по небу, олицетворяют восходящее и заходящее солнце.

Древние индийцы представляли Землю в виде полусферы, опирающейся на слонов. Слоны стоят на огромной черепахе, а черепаха на змее, которая, свернувшись кольцом, замыкает околоземное пространство.

Представление о мире в Древнем Китае было следующим (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Представление о мире в Древнем Китае

Сверху - безграничное круглое небо, внизу - земля квадратной формы, в центре нее - Среднее государство - Китай, или Поднебесная страна.

Сначала был хаос, состоявший из мельчайших частиц - *ци*. Затем произошло разделение *ци*: легкие, светлые частицы, поднялись вверх, из них образовалось небо - *ян*. Тяжелые, темные упали вниз, из них образовалась земля - *инь*, - земля.

Млечный Путь уподоблялся реке: Небесная река (*тянь-хэ*), или Серебряная река (*инь-хэ*), или Большая река (*да-чуань*).

Древнегреческие представления о Земле были следующими. В VI веке до н. э. древнегреческий философ Анаксимандр Милетский (около 610-546 гг. до н.э.), представлял Землю в виде каменной колонны, верхняя поверхность которой занята обитаемым миром, а Солнце и звезды вращаются вокруг этой колонны. Со времён Пифагора (ок. 570 - 495 гг. до н.э.) Землю признавали шаром.

V веке до н.э., Парменид (540-480 гг. до н.э.) и другим мыслителям пифагорейской школы считают форму Земли шарообразной и помещают ее в центр Вселенной. Эти взгляды разделяли Сократ и Платон. Впервые математическое вычисление размеров Земли удается Эратосфену (около 275-194 гг. до н.э.) около 240 года до н.э.

4.2. Размеры и форма Земли

Греческий математик, астроном, географ и поэт Эратосфен Киренский (276 -94 год до н.э.) ввел термин «География». Написал труд «География» в 3-х книгах. В 240 г. до н.э. впервые вычислил длину радиуса Земли (рис. 4.3.).

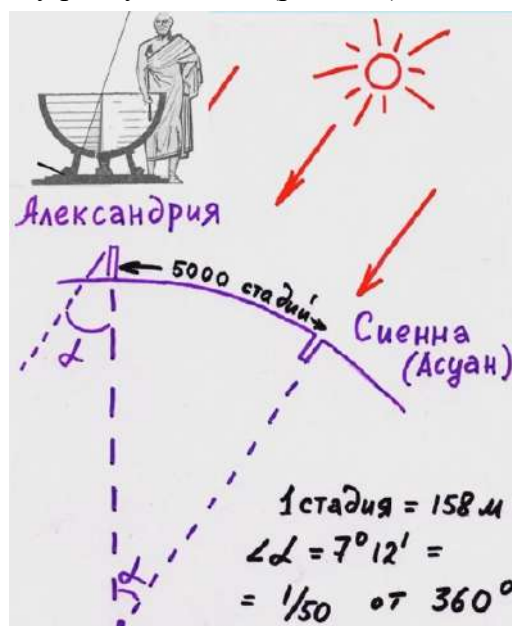


Рис. 4.3. Измерение радиуса Земли

Измерение радиуса Земли

В день летнего солнцестояния в полдень с помощью скафиса был измерен угол α и рассчитан радиус Земли (рис. 4.3).

Солнечные лучи падают на Землю практически параллельно, т.к. Солнце находится на очень большом расстоянии. Расчет был следующим:

1) Длина дуги: $5\ 000$ стадий $\cdot 157,5\text{ м} = 787,5\text{ км}$

2) Углу $\alpha = 7,2^\circ$ соответствует дуга длиной $787,5\text{ км}$. Составив и решив пропорцию:

$360^\circ / 7,2^\circ = \text{длина окружности} / 787,5\text{ км}$, получаем длину всей окружности:

$$L_{\text{окр.}} = 360^\circ \cdot 787500\text{ м} / 7,2^\circ = 39\ 375\text{ км}$$

Длина окружности = $2\pi R$, отсюда

$$R = 39\ 375\ 000\text{ м} / 2\pi = 6\ 270\text{ км}.$$

Сравним эти данные с размерами Земли, рассчитанными современными способами:

Мин. радиус Земли у полюсов = $6\ 357\text{ км}$;

Макс. радиус на экваторе = $6\ 378\text{ км}$;

Ср. радиус Земли = $6\ 371\text{ км}$;

Длина экватора = $40\ 075\text{ км}$.

Ошибка составила всего $\sim 1,3\%$, что невероятно мало и поразительно.

Форма Земли

По теории эфирных вихрей Р. Декарта (1596-1650), Земля должна иметь форму - вытянутого сфероида (гипотеза «лимона»)

И. Ньютон (1643 - 1727) теоретически доказал, что Земля, как вращающееся тело, должна быть сплюснута у полюсов и иметь форму эллипсоида вращения (сфероида) (гипотеза «мандарина»). Согласно И. Ньютону, разница между экваториальным и полярным радиусами Земли должна составлять $1/300$ от среднего радиуса Земли. Этот спор длился 50 лет.

Эволюция представлений

В XVII в. был изобретён надёжный способ измерения больших расстояний - способ триангуляции.

Чтобы разрешить научные противоречия, Французская академия наук в 1735 году наук снарядила две экспедиции. Одну - к экватору, в Перу, 1735-1743гг. Другую - к Северному полюсу, в Лапландию, 1736- 1737 гг.

В результате проведенных измерений было доказано полярное сжатие Земли. То есть форма Земли не шар (сфера), а сфероид (подобный сфере).

Сфероид – воображаемая поверхность, отвечающая идеальному вращающемуся телу с объёмом и массой Земли (идеальная Земля).

Более точно форма и размер Земли были вычислены советским геодезистом А. А. Изотовым в 1940 г. Выведенная фигура была названа *эллипсоидом Красовского*, или *референц-эллипсоидом Красовского*, представляющий одно из вторых приближений фигуры Земли (первое - шар).

Трехосный эллипсоид Красовского

Эллипсоид имеет следующие параметры:

- экваториальный радиус - 6378,245 км,
- полярный радиус - 6356,863 км,
- средний радиус Земли - 6 371 302 м;
- полярное сжатие - 1/298,25;
- экваториальное сжатие - 1/30000.

Разница между экваториальным и полярным радиусами составляет 21,381 км, а экваториальные радиусы в направлении Африки и Бразилии отличаются на 213 м (рис. 4.4). Эллипсоид Красовского законодательно используется в РФ для обработки геодезических измерений.



Рис. 4.4. Эллипсоид Красовского

Далее появилась еще более приближенная к форме Земли фигура – *геоид* (рис. 4.5).

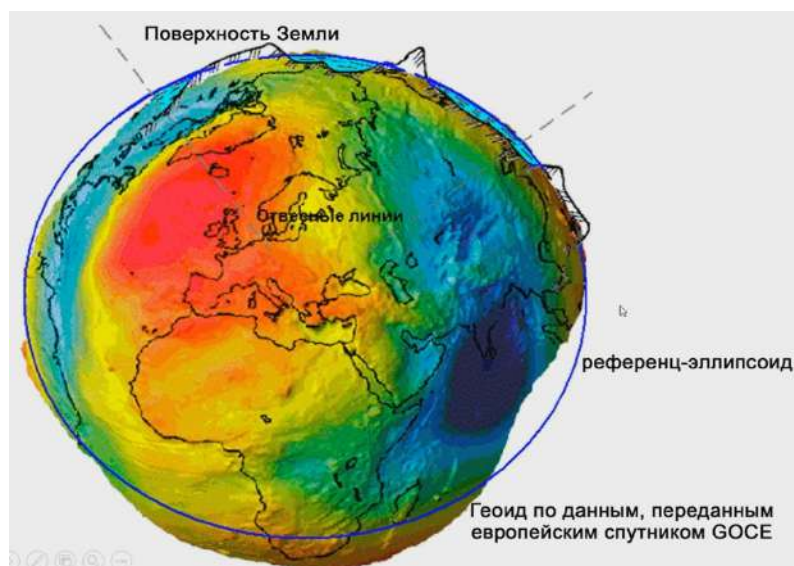


Рис. 4.5. Геоид

Геоид - поверхность, совпадающая со средним уровнем невозмущенного океана, условно продолженная под континенты (рис. 4.6). Эквипотенциальная поверхность, или поверхность одинаковых значений силы тяжести, которая в каждой точке перпендикулярна отвесной линии. Геоид отражает распределение силы тяжести на Земле.

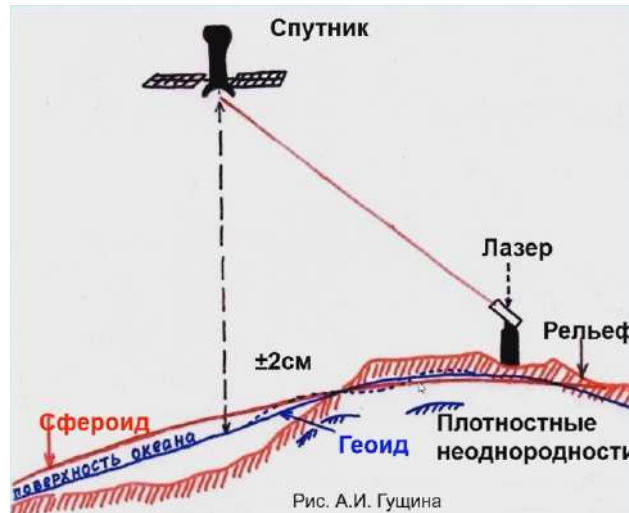


Рис. 4.6. Геоид

Каковы отклонения между геоидом и эллипсоидом Красовского? В масштабах Земли данное отклонение невелико – оно колеблется в пределах 150 м. Например, в Исландии геоид выше эллипсоида на 54 м, а на острове Цейлон наоборот – эллипсоид превышает геоид на 100м.

Земля сплюснута с полюсов (разница радиусов - 21,4 км) и у экватора (разница радиусов ~ 214 м), т.е. Земля - трехосный эллипсоид.

Отличие геоида от трехосного эллипсоида Красовского может быть ± 100 м. Это вызвано неравномерным распределением масс как на поверхности Земли (океаны и континенты), так и внутри неё.

Итак, форма Земли скорее всего напоминает помидор, причем, немного «откушенный» со стороны Индийского океана.

4.3. Внутреннее строение Земли

Основными источниками информации являются объекты, доступные для прямого изучения:

- Средний радиус Земли - 6371км;
- Самая высокая вершина - Эверест - 8 848 м;
- Самая глубокая впадина - Марианский желоб -11 022 м;
- Самая глубокая шахта (ЮАР) ~ 4,5 км
- Самая глубокая скважина - Кольская сверхглубокая -12262м
- Древние породы на щитах = выступах кристаллического основания платформ континентов

- Объекты, доступные для прямого изучения
- Кимберлитовые трубки - трубки взрыва, выносящие на поверхность с глубин 150 - 200 км. При взрыве трубки дают обломки вмещающих пород (ксенолиты), по которым происходит изучение. Пример: Трубка Мир (г. Мирный, Якутия). Ее глубина 525 м, верхний диаметр составляет 1200 - 1100 м; нижний диаметр - 50 -210 м
- Ксенолиты в магмах. Магма – расплав каменного вещества, поднявшийся с глубин. При своем движении магма захватывает обломки вмещающих пород, по которым она поднимается.
- Метеориты. Поскольку вся Вселенная имеет одинаковый химический состав, состав метеоритов может подсказать нам состав пород, находящихся в ядре Земли

4.4. Основные методы изучения

К основным методам изучения относятся косвенные методы - *физические, химические, методы экспериментальной петрологии*. Широко применяется *геофизика* – изучение Земли при помощи физических методов.

Представления о составе, строении и физическом состоянии недр Земли преимущественно основываются на данных комплекса методов.

Главным методом является *сейсмический метод*, основанный на регистрации скорости распространения в теле Земли упругих волн, вызываемых землетрясениями или искусственными взрывами.

Волны - направленные возмущения среды, переносящие энергию. *Упругие волны* - волны, распространяющиеся в упругой среде, переносящие энергию и механические возмущения (деформации). Упругие волны бывают объёмными и поверхностными.

Сейсмический метод

Объёмные сейсмические волны - это упругие волны, возникающие в очаге землетрясения и распространяющиеся во все стороны на огромные расстояния, они пронизывают всю Землю.

По типу деформации эти волны делят на *продольные* (сжатия и разрежения) и *поперечные* (волны сдвига).

Волны записываются специальными приборами – *сейсмографами*. Запись ведется в виде *сейсмограмм*. Путем сложных расчетов выясняется, с какой глубины пришла волна, о каких породах она несет информацию и т.д. Регистрация волн происходит на сейсмических станциях.

Типы объёмных сейсмических волн

Продольные сейсмические волны, Р-волны первичные(primary) - это волны сжатия-разрежения. Они являются реакцией среды на изменение формы и объёма (рис. 4.7). При этом K – модуль всестороннего сжатия, μ - модуль сдвига, ρ – плотность.

Поперечные сейсмические волны, S-волны, вторичные (secondary) волны – это волны сдвига (рис. 4.8). Они представляют собой реакцию среды на изменение только формы. Скорость поперечных волн (V_s) в жидкостях равняется 0, поскольку модуль сдвига в жидкостях равен 0. На основании этого был сделан вывод о том, что внешнее ядро Земли жидкое (расплав), поскольку поперечные волны в нем затухают.

$V_p > V_s$ всегда ~ в 1,7 раза, где V_p – скорость продольной сейсмической волны.



Рис. 4.7. Продольная сейсмическая волна

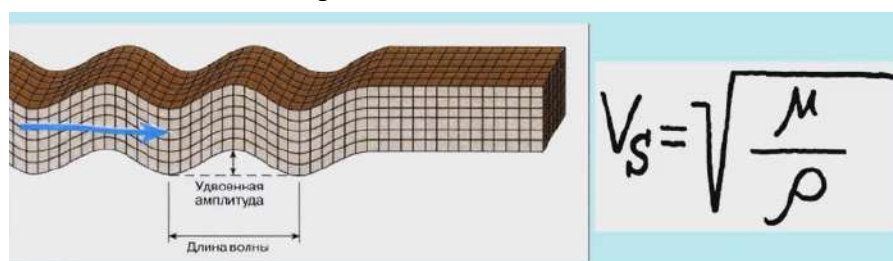


Рис. 4.8. Поперечная сейсмическая волна.

4.5. Главные сейсмические границы

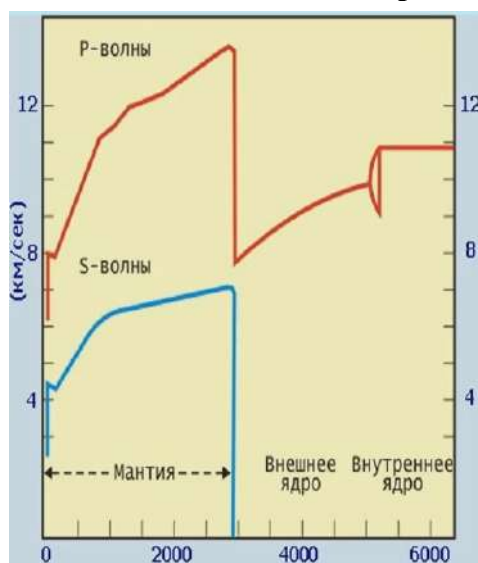


Рис. 4.9. График скорости распространения объёмных сейсмических волн в недрах Земли

Наблюдается резкое увеличение V_p и V_s волн в интервале глубин 5 - 75 км (рис. 4.9). Данный сейсмический раздел открыт в 1909 г. А. Мохоровичичем (1857-1936) и назван *границей Мохо* или *М*. Это граница земной коры и мантии.

Кроме того, наблюдается резкое падение V_p волн и полное исчезновение S-волн на глубине ~ 2900 км. Данный раздел открыт в 1914 г. Б. Гутенбергом (1889-1960). *Граница Гутенберга* - граница между мантией и внешним ядром.

На глубине 5120 км вновь наблюдается резкое увеличение V_p волн - *граница Леманн*. Твёрдое внутреннее ядро было открыто в 1936 г. И. Леманном.

4.6. Основные оболочки Земли

Внутреннее строение Земли

Основные оболочки Земли (рис. 4.10):

- А - земная кора (0-75 км), средняя ее мощность -33 км
- В - верхняя часть верхней мантии, включая астеносферу (0-410 км). Астеносфера – слой, в котором происходит падение сейсмических скоростей.
- С - нижняя часть верхней мантии (410-670 км).
- D - переходный слой (2700-2900 км).
- E - внешнее ядро (2900-4980 км), обладающее свойствами жидкости.
- F - переходный слой (4980-5150 км).
- G - внутреннее твёрдое ядро.

На рис. 4.10 цифры слева представляют собой доли в % от массы Земли.

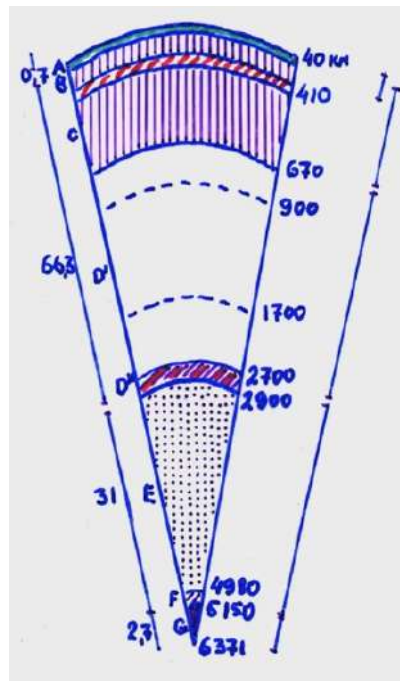


Рис. 4.10. Внутреннее строение Земли

Континентальная кора

Имеет большую мощность. Имеет следующее строение (рис. 4.11):

Слои 1 и 2. Осадочные породы (~10% массы), магматические (~45%), метаморфические (~45%).

- Слой 1. Осадочный. Среди пород преобладают глины и глинистые сланцы + пески и песчаники (>80% массы).
- Слой 2. Гранито-гнейсовый. Среди магматических - граниты и базальты. Среди метаморфических - кристаллические сланцы и гнейсы.
- Слой 3. Гранулит-базитовый слой. Конкретный состав неизвестен. По данным геофизики состоит из пород, физические свойства которых близки к свойствам метаморфизованных базальтов.

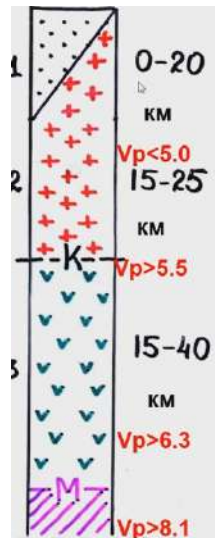


Рис. 4.11. Строение континентальной земной коры

Океаническая кора

Имеет существенно меньшую мощность, чем континентальная кора. Строение также проще, чем у континентальной (рис. 4.12):

- Слой 1 (Верхний слой) - осадочные породы, химический состав которых хорошо известен. Осадочный слой существенно меньше, чем у континентальной коры. В океанической коре нет гранито-гнейсового слоя.
- Состав пород слоёв 2 и 3 также хорошо известен по данным бурения и драгирования. Это геохимически однородные базальты.

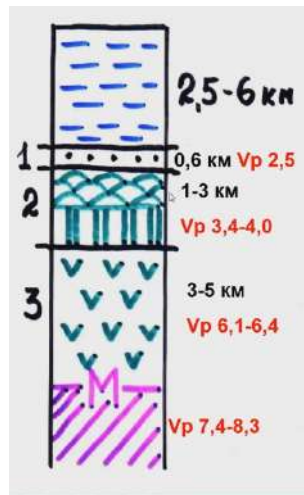


Рис. 4.12. Строение океанической коры

Мантия и ядро

Мантия. Состав мантии может быть определён только предположительно на основе геофизических и экспериментальных данных. Мантия, вероятно, сложена ультраосновным (обеднённым SiO₂ и обогащенным Fe и Mg) породами.

Ядро. Состав непосредственно не известен, но довольно определённо может быть оценён. Эксперименты показывают, что при давлениях в ядре >1,5 Мбар, его геофизические параметры близки к физическим свойствам железных метеоритов, состоящих из сплава Fe и Ni.

Плотность ядра ~12 г/см³ что на 10% меньше плотности чистого сплава Fe и Ni, т.е. в состав жидкого ядра должно входить некоторое количество «легких» элементов, наиболее вероятно серы.

Астеносфера и литосфера

Астеносфера (от греч. asthenes, - слабый) – слой, обладающий пониженной прочностью и вязкостью (Low Velocity Zone), что, по-видимому, обусловлено наличием частично расплавленного вещества, около 1-2 % общей массы. Мощность от нескольких до 100-400 км. Граница 410 км считается усредненной нижней границей астеносферы.

Литосфера (от греч. lithos - камень) - каменная, твердая оболочка Земли, включающая земную кору и часть верхней мантии, определяемая также как надастеносферный слой. Мощность литосферы имеет большой разброс и составляет от нескольких км под океанами до 200 км на континентах.

Химический состав и физическое состояние недр Земли

Главные элементы Земли: железо Fe (38,8 1%), кислород O (27,17%), кремний Si (13,84%), магний Mg (11,25%), сера S (2,74%), никель Ni (2,7%), кальций Ca (1,507%) и алюминий Al (1,07%), остальные <1,2%.

Земная кора: SiO₂, Al₂O₃, CaO, FeO, MgO и другие оксиды.

Мантия: SiO₂, MgO, FeO, Al₂O₃, CaO и другие оксиды.

Внешнее ядро: Fe + Ni (84 - 92%) + 10-20% S (возможно Si).

Внутреннее ядро: Fe + Ni.

Плотность

Средняя плотность Земли по данным гравиметрии составляет 5,52 г/см³.
Плотность пород земной коры от 2,4 до 3,0 г/см³.

В объёме Земли кора занимает 1,5%, мантия - 82,3%, ядро - 16,2%. Среднюю плотность Земли определяют плотная мантия и очень плотное ядро.

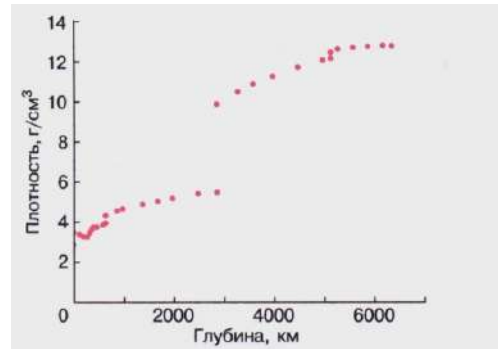


Рис. 4.13. Современная модель распределения плотности в Земле в зависимости от глубины

На рис. 4.13 четко отмечены скачки плотности на границах между земной корой и верхней мантией и между нижней мантией и внешним ядром, и сложный ход плотности с глубиной в области слоя пониженных скоростей и переходной зоны мантии, обусловленный изменениями эффектами частичного плавления и полиморфных переходов.

Источники информации о плотности вещества являются скорость сейсмических волн и эксперименты по фазовым изменениям в веществе.

Давление плавно возрастает с глубиной. Его можно рассчитать на основании характера изменения плотности в недрах.

Температура

Наиболее реалистичная модель изменения температуры с глубиной:

- В основании земной коры ~500° С.
- Верхняя мантия ~1200° С.
- Граница мантии и ядра ~2000-3500° С

Температура в центре Земли вряд ли существенно превышает 4000° С.

4.7. Естественные физические поля Земли

Гравитационное поле

Гравитационное поле Земли, поле силы тяжести - силовое поле, обусловленное притяжением Земли и центробежной силой, вызванной её суточным вращением (рис. 4.14)

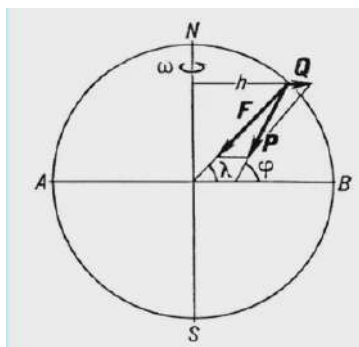


Рис. 4.14. Гравитационное поле Земли

, где P - сила тяжести, F - сила притяжения Земли, направлена к центру Земли, Q - центробежная сила, направлена от оси вращения и перпендикулярна ей.

На полюсе: $Q = 0$, $P = F = \max$

На экваторе: $Q = \max$, $P = F - Q = \min$

Сила тяжести на экваторе на $\sim 0,5\%$ меньше, чем на полюсах.

Тепловое поле Земли

Внешний источник тепла Земли - солнечная радиация. Солнечной энергии хватает на прогрев Земли до глубины 20-40 м. Здесь находится зона постоянных годовых температур, средняя температура которой обычно на 3-4 градуса выше среднегодовой температуры воздуха. В Москве на глубине 20 м постоянная температура $+4,2$ С.

Ниже температура пород начинает постепенно расти, но с разной скоростью в разных местах земного шара.

Внутренние источники тепла Земли:

- Распад радиоактивных изотопов урана, тория калия и других радиоактивных элементов, рассеянных в горных породах.
- Гравитационная (плотностная) дифференциация вещества, благодаря которой Земля разделена на оболочки.
- Деформации за счёт приливного воздействия Луны.
- Остаточное тепло Земли

Значение других тепловых источников Земли очень мало.

Геотермический градиент

Увеличение температуры с глубиной в градусах на единицу глубины называется *геотермическим градиентом*. Средний геотермический градиент равен 30 °С на 1 км глубины или 3 °С на 100м глубины.

Обратная величина - *геотермическая ступень* - интервал глубины в метрах, на котором температура пород повышается на 1 °С. Средняя геотермическая ступень составляет 33 метра.

Тепловой поток

Тепловой поток - тепло, излучаемое Землей, количество тепла, поступающего из недр Земли на единицу площади (1 м^2) за единицу времени, измеряется в $\text{мВт}/\text{м}^2$ или в $\text{ккал}/\text{м}^2$.

Магнитное (геомагнитное) поле Земли

Магнитное поле Земли (геомагнитное поле) складывается из главного, аномального и внешнего геомагнитных полей. Главное, или основное геомагнитное поле генерируется внутриземными источниками.

Аномальное поле создается намагниченными горными породами. Внешнее или переменное геомагнитное поле связано с солнечно-земными взаимодействиями.

Напряженность дипольного магнитного поля Земли $\sim 0,5$ эрстед. Магнитному полю Земли лучше всего соответствует дипольная модель однородно намагниченного шара.

Геомагнитные полюсы - точки пересечения магнитной оси с земной поверхностью, в которых магнитное наклонение $= 90^\circ$ (рис. 4.15).

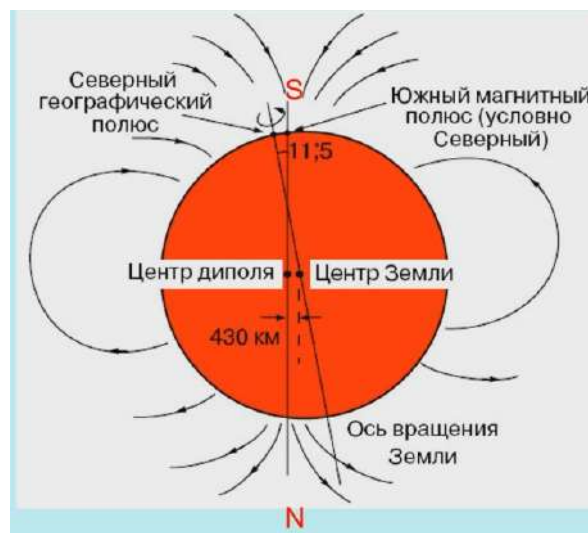


Рис. 4.15. Геомагнитные полюса

На рисунке S – южный магнитный полюс, располагается в Северной Гренландии, N – северный магнитный полюс, в Антарктиде.

Географический и магнитный полюса не совпадают. Угол между географическим и магнитным меридианами называется *магнитным склонением*.

В истории Земли были моменты смены полярности магнитных полюсов – *инверсия магнитного поля*. Это устанавливается по магматическим породам – при их застывании ферромагнитные минералы реагируют на поле, существующее при застывании. При исследованиях было замечено, что в некоторых породах магнитное поле направлено в одну сторону, в других – в другую.

Магнитосфера

Это область геомагнитного поля, обтекаемого солнечным ветром, ее граница с дневной стороны проходит на расстоянии 70-80 тыс. км от Земли, границы хвоста не известны.

Граница магнитосферы Земли, на которой давление магнитного поля равно давлению окружающей магнитосферу плазмы, называется *магнитопауза*.

Геомагнитное поле несет важную экологическую функцию, защищая Землю и все живое от губительного потока ионизированного плазменного вещества.

Области магнитосферы, представляющие собой геомагнитные ловушки, удерживающие частицы в ограниченном объеме, образуют *радиационные пояса Земли* (пояса Ван Аллена).

Между внутренним и внешним радиационными поясами существует щель в интервале от 2 до 3 радиусов Земли (рис. 4.16). Состав частиц во внутреннем поясе - протоны и электроны, во внешнем – электроны.



Рис. 4.16. Радиационные пояса Земли

Лекция 5. Тектонические движения. Землетрясения

5.1. Экзогенные и эндогенные процессы

Протекающие на Земле процессы разделяют на *экзогенные* - процессы внешней динамики и *эндогенные* - процессы внутренней динамики.

Экзогенные процессы - деятельность ветра, поверхностных и подземных вод, выветривания, ледников, океанов и морей и т.д. Данные процессы действуют на поверхности и обусловлены поверхностными факторами. Их «целью» является сглаживание поверхности Земли.

Эндогенные процессы - магматические, метаморфические и тектонические процессы. Эти процессы создают рельеф Земли, от них зависят горообразование, вулканизм и т.д.

Главные черты рельефа и внутреннего строения Земли обязаны действию внутренних (эндогенных) сил. Детали рельефа, его тонкая скульптура выработаны действием поверхностных, внешних (экзогенных) факторов.

К экзогенным процессам относится *деятельность поверхностных вод* – образование оврагов благодаря временным водотокам (селям), эрозийная деятельность рек по разрушению горных пород (гп) и смещению их в пониженные участки и т.д.

Ветер – серьезный экзогенный фактор. Происходит выдувание гп, разрушение их частицами встречных объектов, образование различных дюн и барханов.

Ледники выламывают породы, разрушают ложе, на котором находятся и сносят обломки пород на более низкие гипсометрические уровни, образуя *морены* – плохо сортированные ледниковые отложения.

Моря и океаны – деятельность связана с разрушением и переотложением вещества. *Абразия* – деятельность морей и океанов по разрушению горных пород.

Гравитационные процессы (склоновые процессы) – процессы, направленные на перенос обломков пород с вышележащих уровней на нижележащие – обвалы, оползни, осыпи и т.д.

Наиболее ярко **эндогенные процессы** проявляются в виде магматизма и землетрясений – результаты тектонических движений.

5.2. Тектонические движения

Еще 2,5 тыс. лет назад Пифагор писал, что «твёрдая земля превращалась в море, море изменялось в сушу». Тектонические движения связаны с внутренней энергией Земли.

Ярче всего вертикальные длительные колебательные движения проявляются на морских побережьях. Горизонтальные движения долгое время считались производными от вертикальных, меньшими по скорости и амплитуде.

Горизонтальные движения имеют направленный характер. По скорости и амплитуде они превосходят вертикальные движения. Особенно заметны при землетрясениях.

По времени проявления тектонические движения подразделяются на:

- современные (движения последних 3-х веков);
- новейшие (движения последних 30-35 млн. лет;
- движения геологического прошлого.

Эвстатические колебания уровня Мирового океана

Представляют собой собственные колебания уровня воды в океанах, вызванные изменением объёма воды или ёмкости океанических и морских впадин.

Самый низкий уровень (на 250-350 м ниже современного) наблюдался в олигоцене. Самый высокий (на 350 м выше современного) - в позднем мелу.

Изменение уровня воды в морях и океанах не всегда связано с тем, что идет опускание и вздымание той или иной части побережья.

В позднем мелу, около 100 млн. лет назад, происходил активный рост срединно-океанических хребтов, что привело к уменьшению ёмкости океанических впадин и морской трансгрессии (наступанию) на всех континентах – произошел длительный пик подъема уровня Мирового океана.

Падение уровня Мирового океана в олигоцен, около 35 тыс. лет назад, связано с общим похолоданием, формированием ледниковых шапок, уменьшением объёма воды в океанах – произошла регрессия (отступление) океанов на всех континентах.

Суточное гравитационное воздействие Луны на Землю

Водные приливы и отливы связаны с взаимным положением Земли и Луны (рис. 5.1). В тех случаях, когда Луна и Солнце оказываются на одной прямой, силы их притяжения складываются, при этом на Земле наблюдаются наиболее сильные приливы. Если Луна и Солнце находятся под прямым углом, наблюдаются наименее высокие приливы.



Рис. 5.1. Причина водных приливов и отливов

Но есть и «твердые» приливы. Сила притяжения Луны вытягивает на себя земную твердь. Сторона Земли, повернутая к Луне, в большей степени подвергается притяжению, обратная сторона – в меньшей. Поверхность, обращённая к Луне, вздувается, центр Земли смещается меньше, а с противоположной стороны поверхность

вздувается еще меньше. Земная кора деформируется не более, чем на 0,5-0,7 м, на суше приливные движения людьми не ощущаются. Твердые приливы вносят свой вклад в тепловое поле Земли – колебательные движения нагревают Землю.

Эндогенные процессы и все, что с ними связано, изучает *тектоника* – наука о строении земной коры (литосферы), геологических структурах, закономерностях их расположения и развития.

Под структурой понимается неоднородность в распределении и залегании горных пород. Причиной этой неоднородности являются движения земной коры (литосферы) и более глубоких оболочек, называемые *тектоническими движениями*.

Движения земной коры выражаются в перемещении отдельных её участков в *вертикальном* (поднятия, опускания) или *горизонтальном* направлении. Главные источники тектонических движений лежат в глубоких недрах Земли.

«Земная твердь» никогда не остаётся в покое - происходят поднятия, опускания, перемещения в горизонтальном направлении. Движения происходят крайне неравномерно, с разными скоростями и размахом.

Движения могут быть быстрыми и медленными, неравномерными, колебательными. Они могут сменять друг друга: опускание -> поднятие -> опускание -> поднятие - знакопеременные волнообразные движения. Длительность колебательных движений различна.

Современные тектонические движения

Хорошо наблюдаются на морских побережьях. Впервые их планомерные наблюдения стали проводиться в Скандинавии. В 1743 году А. Цельсий и К. Линней сделали засечки на гранитных скалах побережья Скандинавского полуострова и подсчитали скорость его поднятия, составившую 1,27 м за 100 лет.

Современные движения - тектонические движения, которые изучаются с помощью инструментальных методов. Систематические наблюдения ведутся с 80-х годов 18 века. В портах устанавливали *футштоки* - рейки с делениями, устанавливаемые на водомерных постах для визуального наблюдения уровня воды. В России самым известным является Кронштадтский футшток, установленный в 1840г – от него измеряются все высоты в Российской Федерации.

Измерение вертикальных движений на суше

Для таких измерений используется *метод повторного нивелирования*. Систематическое повторное нивелирование совершенно необходимо для обеспечения безопасности железнодорожного и автомобильного движения, транспортировки по трубопроводам нефти и газа. Сегодня подобные измерения ведутся с использованием космических технологий.

Примеры

В настоящее время на колоннах храма Сераписа (г. Пиццуоли, Италия) отмечается интервал, изъеденный комарообразными организмами (рис. 5.2). Связано это с тем, что храм был построен на побережье (105 г до н.э.). Храм полностью ушел под воду,

с чем связана деятельность бентосных организмов на колоннах. Факт опускания и поднимания храма говорит о тектонических процессах.

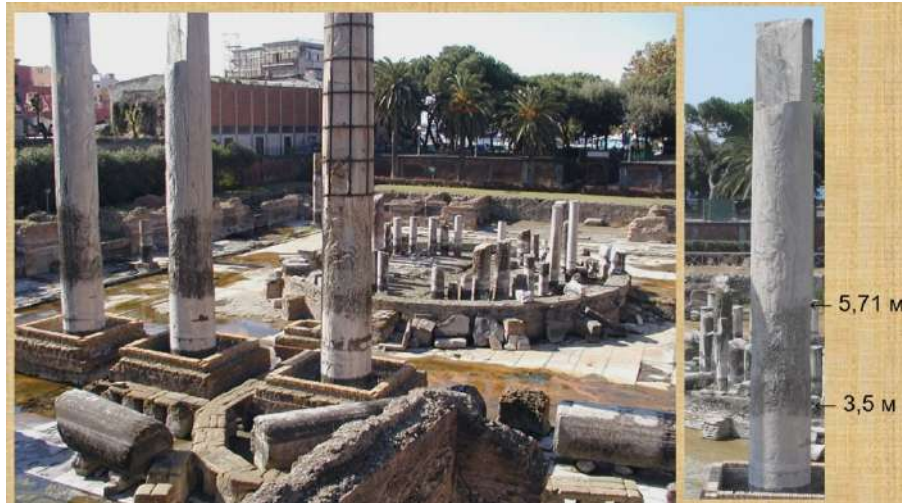


Рис. 5.2. Храм Сераписа (г. Пиццуоли, Италия)

В Великобритании наблюдаются разнонаправленные тектонические движения. Северная часть острова вздымается, а южная опускается. Установлено, что через 200 лет южная часть опустится на 30 см.

Венеция также является примером опускающегося участка. В Голландии больше 25% территории находится ниже уровня моря, территория продолжает опускаться. По прогнозам в ближайшие 200 лет территория опустится на 2-4 м.

На Каспийском море инструментальные измерения уровня ведутся с 1837 г., самый высокий уровень воды зарегистрирован в 1882 году (-25,2 м), самый низкий – в 1977 году (-29,0 м), с 1978 г. Уровень воды повышался, в 1995 г. достиг отметки -26,7 м, с 1996 – опять понижался до - 28,0 м. Но с 2001 вновь повышается. Сейчас уровень воды приблизительно равен - 26,3 м.

Крымские горы являются растущими. На фоне этого полуостров опускается. Часть города Севастополь находится на побережье, часть – уходит под воду.

Горизонтальные тектонические движения

Блоки литосферы разнонаправленно движутся. На границах литосферных плит существует три типа движений: столкновение – *конвергентные границы*, расхождение плит – *дивергентные границы*, скольжение плит относительно друг друга – *трансформные границы*.

Тектонические напряжения

В результате тектонических движений в породах возникают напряжения, приводящие к деформации пород. Деформации могут быть упругие, складчатые и деформации разрушения. В следствие нарастающих напряжений и деформаций, превышающих пределы упругости и прочности пород, возникают складчатые и разрывные дислокации, что может приводить к землетрясениям (рис. 5.3).

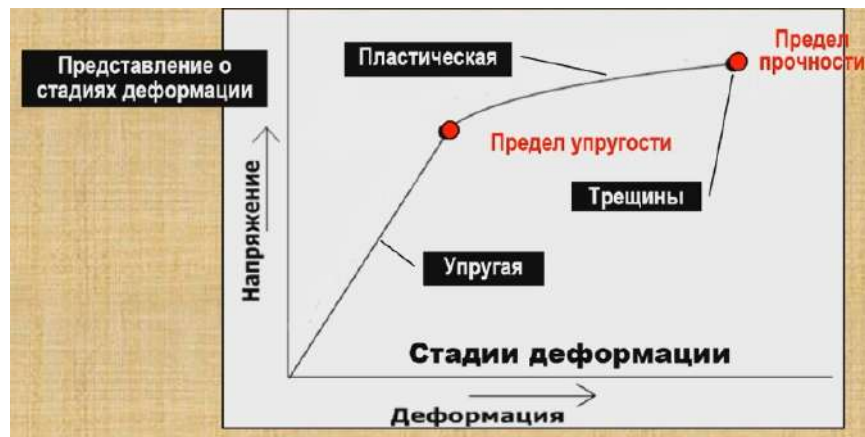


Рис. 5.3. Схема тектонических напряжений

5.3. Землетрясения

Самым ярким и наиболее губительным для человека проявлениями эндогенной энергии Земли являются землетрясения и вызванные ими цунами. Слабые землетрясения происходят на Земле каждую секунду, сильные, катастрофические, случаются раз в несколько лет.

Землетрясения - всякие колебания земной коры и подземные удары, вызванные естественными причинами. Проявляются в виде подземных толчков, волнообразных колебаний почвы, заметных изменениях рельефа, образования трещин и разрушения зданий, дорог, нередко, многочисленных человеческих жертвах. Играют заметную роль в жизни нашей планеты.

В год на Земле регистрируется свыше 1 млн. подземных толчков, т.е. в среднем два землетрясения в минуту.

Поражающие факторы землетрясения

Землетрясения характеризуются наличием первичных и вторичных поражающих факторов.

К *первичным* относятся:

- обрушения строений
- нарушение целостности земной поверхности.

К *вторичным*:

- пожары
- нарушения систем жизнеобеспечения
- наводнения
- аварии на предприятиях
- лавины
- сели
- обвалы
- оползни

В результате сильных землетрясений происходит изменение рельефа.

Катастрофические землетрясения последних 70 лет:

1948 год - Ашхабад (Туркмения) - 110 000 погибших

1960 год - Агадир (Марокко) - 15 000

1960 год - Чили - 10 000

1970 год - Чимботе (Перу) - 70 000

1976 год - Гватемала - 23 000

1976 год - Таньшань (Китай) - 243 000

1985 год - Мехико (Мексика) - 75 000

1988 год - Спитак (Армения) - 25 000

1990 год - Иран - 40 000 - 50 000

1995 год - Нефтегорск (Россия) - 1841

2003 год - Бам (Иран) - 31 000

2004 год - Суматра (Индонезия) - 227 898

2005 год - Кашмир (Пакистан) - 86 000

2008 год - Сычуань (Китай) - 87 587

2009 год - Аквила (Италия) - 293

2011 год - Токоху, Фокусима (Япония) - 20 000

2015 год - Непал - 5 000

5.4. Очаг землетрясения. Сейсмические волны

Сейсмические волны - упругие волны, переносящие энергию упругих колебаний в горных породах. Волны возникают в результате разрыва в *очаге землетрясения* – некотором объеме пород, и, распространяясь во все стороны на огромные расстояния, волны пронизывают всю Землю.

По типу деформации эти волны делят на продольные (сжатия и разрежения) и поперечные (волны сдвига).

Очаг землетрясения - некоторый объем горных пород в толще земной коры или верхней мантии, в котором происходит разрушение пород, т.е. возникновение трещин и основного разрыва.

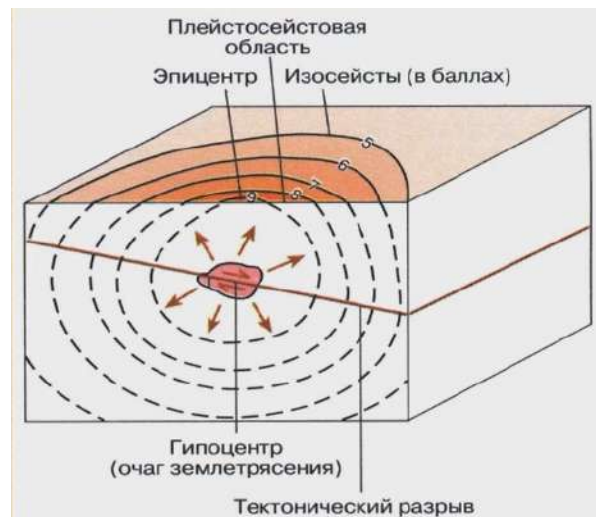


Рис. 5.4. Очаг землетрясения

Предполагаемое место начала разрушения внутри очага называют *фокусом*, или *гипоцентром землетрясения*. Проекция гипоцентра на земную поверхность – *эпицентр землетрясения* (рис. 5.4). Иногда основные разрывы выходят на поверхность. Пунктирные линии на рисунке соединяют точки с одинаковой интенсивностью землетрясений и называются *изосейстами*. В центре выделяют *плейстосейстовую область* – область наибольших разрушений.

На основании качественной оценки бальности в том или ином районе строят карту интенсивности землетрясения.

Изосейсты - линии одинаковой интенсивности землетрясения окружают эпицентр и ограничивают площади с одинаковым внешним сейсмическим эффектом.

Плейстосейстовая область - область наибольших разрушений, прилегает к эпицентру.

Во время землетрясения в Сан-Франциско 18.04.1906 г. общая протяженность поверхностных разрывов в зоне разлома Сан-Андреас составила более 430 км, максимальное горизонтальное смещение - 6 м.

Возникающие в очаге сейсмические волны называются **объемными**, они проходят через объем Земли. Объемные волны непрерывно разбегаются от источника, образуя сферический волновой фронт (рис. 5.5).

Различают два типа объемных волн – продольные (Р-волны) и поперечные (S-волны).

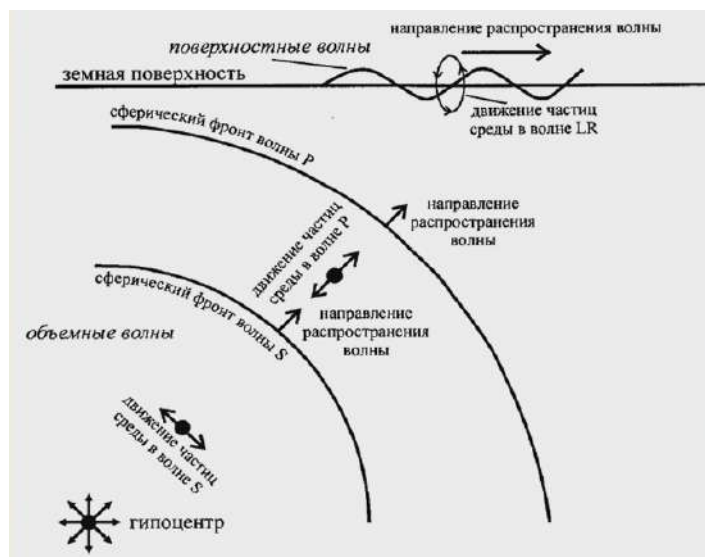


Рис. 5.5. Фронт объемной сейсмической волны

Волны P представляют собой колебания частиц вещества вдоль направления распространения фронта волны (рис. 5.6). Такие колебания приводят к сжатию и растяжению вещества под действием нормальных напряжений. Они отвечают за изменения объема вещества при деформациях. Поскольку изменению объема сопротивляются любые вещества, продольные волны проходят через любые среды. Скорости распространения P -волн 5-13 км/с. Поперечные, вторичные, волны.

Волны S - это процесс колебаний частиц вещества поперек направления распространения волны, т.е. вдоль фронта волны (рис. 5.7.). Такие движения происходят под действием касательных напряжений, отвечающих за изменение формы вещества. Поскольку жидкости и газы изменению формы не сопротивляются, поперечные волны через такие среды не проходят. Скорость их распространения 3.2- 7.3 км/с, т.е. они примерно в два раза медленнее продольных.

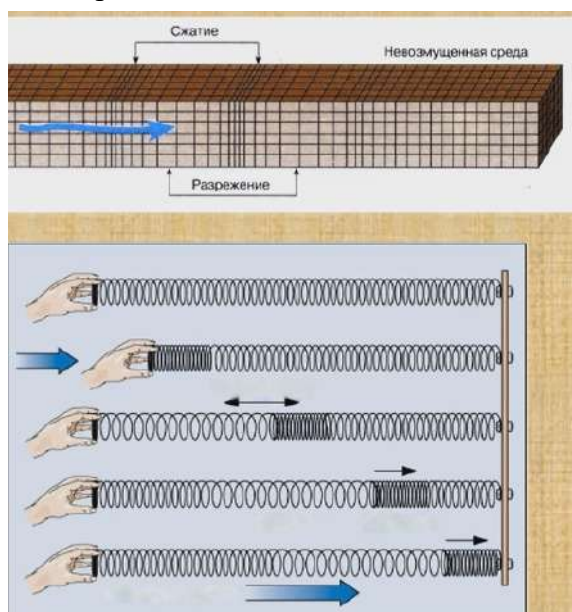


Рис. 5.6. Распространение продольной волны

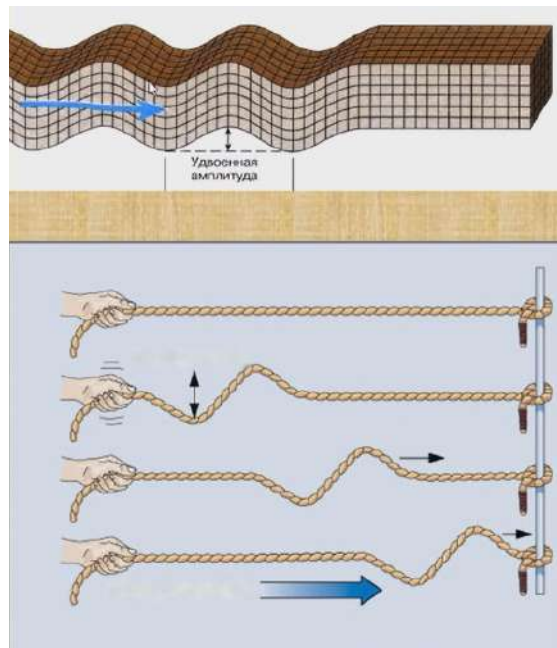


Рис. 5.7. Распространение поперечных волн

С помощью сейсмических волн были выделены основные сферы Земли – земная кора, мантия, ядро.

Поверхностные сейсмические волны

Распространяются вдоль земной поверхности или параллельно ей не глубже 80-160 км. Во многих случаях разрушительные действия вызываются именно этими волнами.

Различают поверхностные волны Лява и волны Релея, названные по именам ученых, разработавших математическую теорию их существования.

Волны Лява (L-волны) заставляют колебаться частицы почвы из стороны в сторону параллельно земной поверхности под прямым углом к направлению своего распространения (рис. 5.8). Поверхностные волны вырывают основу под сооружениями, очень разрушительны.

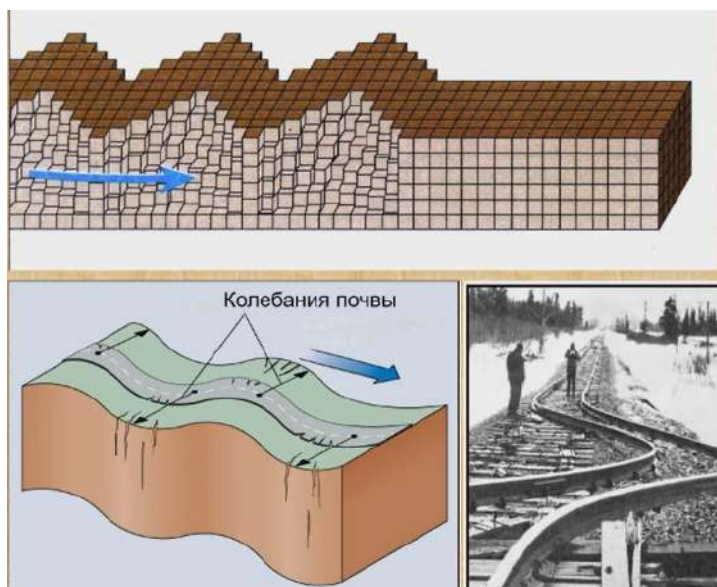


Рис. 5.8. Волна Лява

При прохождении волн Рэлея частицы породы описывают эллипсы в вертикальной плоскости (рис. 5.9). Скорость распространения поверхностных волн составляет 3,2-4,4 км/с. При глубокофокусных землетрясениях поверхностные волны очень слабые. Движения при землетрясениях - результат наложения волн разных типов.

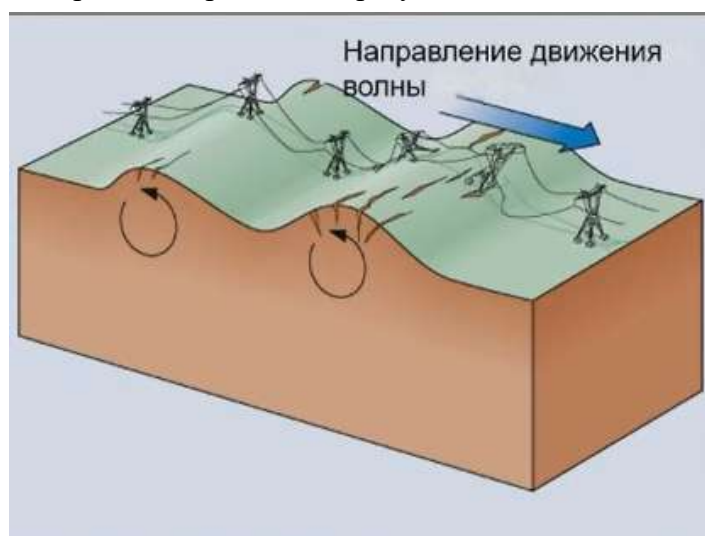


Рис. 5.9. Волна Рэлея

Земле(марсо)трясения на Марсе

Зонд NASA InSight ощущает сотни марс-землетрясений. Зонд космического агентства США обнаружил более 450 значительных сейсмических событий с момента приземления в 2018 году. Их магнитуда до 4.

На Марсе нет очевидных свидетельств тектоники плит, что является основным движущей силой землетрясений на Земле. По-видимому, землетрясения на Красной планете является результатом охлаждения и сжатия ее внешней оболочки.

5.5. Методы изучения землетрясений (полевые и инструментальные)

Полевые методы

В основе полевых методов лежит качественная оценка последствий землетрясения по его воздействию на людей, животных, рельеф, здания и другие объекты и сооружения. Для этого разработаны и приняты в различных районах мира шкалы интенсивности (внешнего эффекта) землетрясений (I), которая выражается в баллах.

В США - Модифицированная шкала Меркалли (MM), в Европе - Европейская макросейсмическая шкала (EMS), в Японии - шкала Шиндо (Shindo). В России и странах СНГ - 12-балльная шкала MSK - Медведева- Шпонхойера-Карника, которая была разработана ими в 1964 году (рис. 5.10).

Балл	Сила землетрясения	Краткая характеристика
1	Не ощущается.	Отмечается только сейсмическими приборами.
2	Очень слабые толчки	Отмечается сейсмическими приборами. Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя в верхних этажах зданий, и очень чуткими домашними животными.
3	Слабос	Ощущается только внутри некоторых зданий, как сотрясение от грузовика.
4	Умеренное	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол, скрипу дверей и стен. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей.
5	Довольно сильное	Под открытым небом ощущается многими, внутри домов — всеми. Общее сотрясение здания, колебание мебели. Маятники часов останавливаются. Трещины в оконных стёклах и штукатурке. Пробуждение спящих. Ощущается людьми и вне зданий, качаются тонкие ветки деревьев. Хлопают двери.
6	Сильное	Ощущается всеми. Многие в испуге выбегают на улицу. Картины падают со стен. Отдельные куски штукатурки откалываются.
7	Очень сильное	Повреждения (трещины) в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные и плетневые постройки остаются невредимыми.
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются.
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Старые деревянные дома кривятся.
10	Уничтожающее	Трещины в почве иногда до метра шириной. Оползни и обвалы со склонов. Разрушение каменных построек. Искривление железнодорожных рельсов.
11	Катастрофа	Широкие трещины в поверхностных слоях земли. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома почти полностью разрушаются. Сильное искривление и выпучивание железнодорожных рельсов.
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, подпруд на озёрах, отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает.

Рис. 5.10. Шкала интенсивности MSK-64

Инструментальные методы изучения землетрясений

Сейсмографы - приборы, регистрирующие колебания земной поверхности, появились в конце 19 века. С этого времени начинается инструментальное научное изучение землетрясений.

Первый прибор, способный улавливать колебания земной поверхности, был изобретен в 132 г. китайским астрономом Чжан Хэном. Прибор улавливал подземные

толчки на расстоянии до 600 км. Работал он следующим образом. В чашу наливалась вода, по бортам чаши расположены драконы. Во рту у каждого дракона находился слабо закреплённый металлический шарик, под каждым драконом располагалась лягушка. В случае толчка шарик выпадал в пасть лягушке, что свидетельствовало о происхождении ударной волны. Поскольку драконы располагались по всему периметру устройства, возможно было определить, с какой стороны пришла волна.

Идея действия современного сейсмографа основывается на том принципе, что свободно подвешенные маятники при землетрясениях остаются почти неподвижными.

Сейсмограмма - непрерывная запись (с помощью сейсмографов) упругих колебаний Земли, вызванных землетрясением или взрывом (рис. 5.11).

По сейсмограмме определяют моменты прихода упругих волн, координаты эпицентра, глубину очага, его динамические параметры, энергию землетрясения.

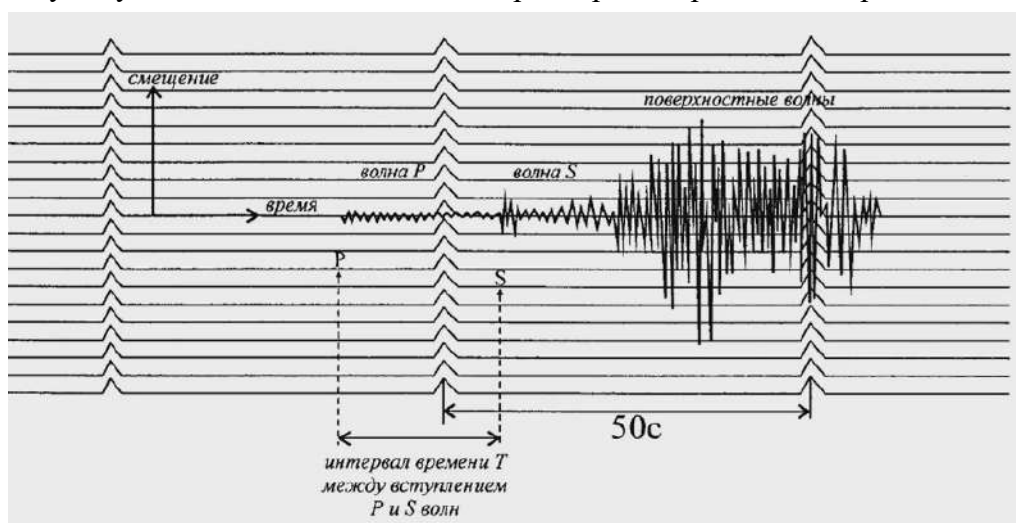


Рис. 5.11. Пример сейсмограммы

Магнитуда (M) и сейсмическая энергия (E)

В 1935 году Ч. Рихтер предложил способ измерения энергии землетрясения, который не зависит от субъективных оценок.

Сейсмограмма - запись упругих колебаний почвы при землетрясениях в виде пиков разной амплитуды.

Если принять за эталон (стандарт) какое-то очень слабое землетрясение с амплитудой смещения A_0 , то все другие землетрясения с амплитудой A можно с ним сравнивать (отношение A/A_0).

На практике удобнее пользоваться логарифмом этого отношения, который и называется *магнитудой*:

$$M = \lg \frac{A}{A_0}$$

Магнитуда землетрясения, по Ч.Ф. Рихтеру, определяется как десятичный логарифм отношения максимальных амплитуд волн данного землетрясения (A) к фоновой амплитуде (A_0).

Магнитуда - безразмерная величина, она не измеряется в баллах. Магнитуда 0 означает землетрясение с максимальной амплитудой равной 1 мкм на эпицентральной расстоянии 100 км. Чем больше размах волны, тем больше смещение почвы и больше пик на сейсмограмме.

Магнитуда землетрясения - величина, характеризующая энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн.

Схема процесса землетрясения

В течение землетрясения выделяется несколько фаз (рис. 5.12). Нарастание энергии происходит в фазе подготовки, после чего могут начаться форшоки.

Форшоки - слабые толчки, предшествующие главному удару. Отмечают начало разрушения среды (образование трещин и подвижек по ним), подготавливающее формирование главного магистрального разрыва.

После основного (магистрального толчка) возможна серия афтершоков, что соответствует фазе разрушения. Иногда афтершоки бывают очень значительными (сотрясение на Фукусиме – следствие от афтершоков значительнее, чем от основного удара).

Афтершоки - слабые толчки после главного удара. Отмечают подвижки, сбрасывающие напряжения, оставшееся в очаге после основного смещения по магистральному разрыву.

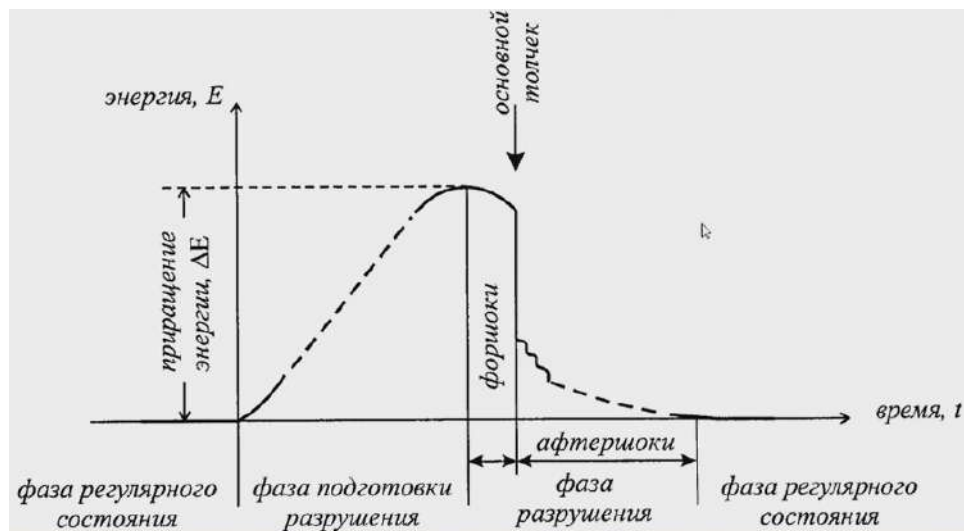


Рис. 5.12. Схема процесса землетрясения

Лекция 6. Причины землетрясений. Цунами

6.1. Причины землетрясений. Тектонические причины

Тектонические причины землетрясений являются наиболее частыми. На границах литосферных плит существует несколько типов движений. Известно, что литосфера разделена на отдельные блоки – *литосферные плиты*. Выделяют следующие типа движений:

- Конвергентные – плиты движутся навстречу друг другу
- Дивергентные – плиты расходятся
- Трансформные – плиты скользят относительно друг друга

Землетрясения, вызванные тектоническими движениями, составляют около 95% всех землетрясений. Связаны они с мгновенными разгрузками механических напряжений, возникающих при тектонических движениях и деформациях отдельных блоков литосферы (литосферных плит).

Сила трения до некоторого времени препятствует перемещению блоков и способствует росту напряжений в отдельных местах, которые называются *концентраторами напряжений*.

Рост напряжений ограничен пределом прочности массива горных пород. При его разрушении образуется *магистральный разрыв*, смещение по которому сбрасывает напряжение и высвобождает упругую энергию.

Общая схема тектоники литосферных плит

Схема заключается в том, что одни плиты подходят под другие (рис. 6.1). Такая ситуация возникает на конвергентных границах. На дивергентных границах плиты расходятся.

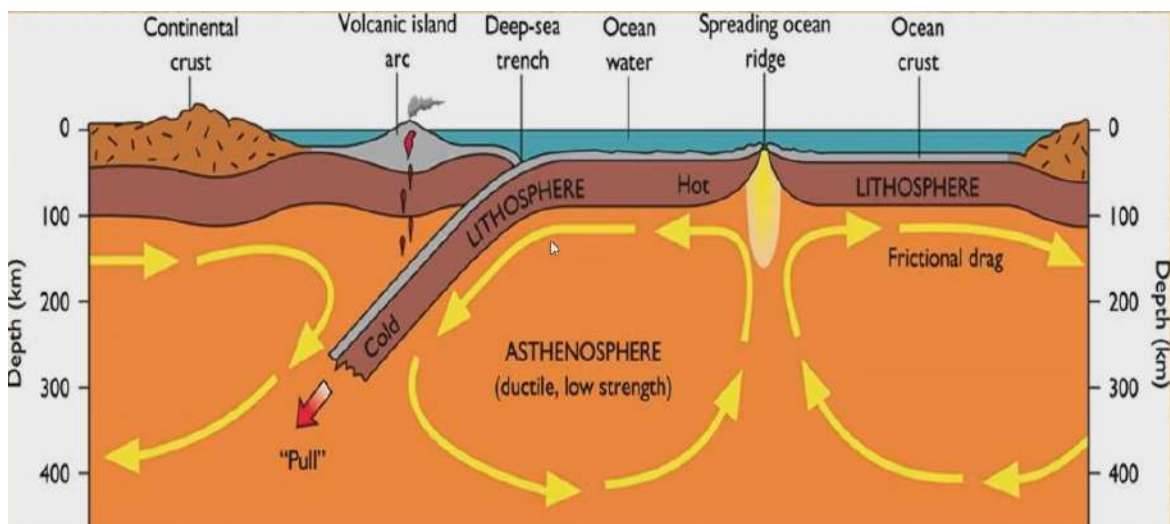


Рис. 6.1. Общая схема тектоники литосферных плит

В результате тектонических движений в породах возникают напряжения, приводящие к деформации пород. Деформации могут быть упругие, складчатые и деформации разрушения. В следствие нарастающих напряжений и деформаций,

превышающих пределы упругости и прочности пород, возникают складчатые и разрывные дислокации, что может приводить к землетрясениям.

Географическое распределение и режимы землетрясений

Черными точками на рис.6.2 обозначены гипоцентры землетрясений. В некоторых областях Земли их концентрация крайне высока. Наибольшее скопление очагов представляет собой Средиземноморско-Индонезийский пояс. Густо скапливаются очаги вокруг Тихого океана – *огненное кольцо*, обрамляющее Тихий океан. Огненным оно называется по той причине, что помимо землетрясений в нем вулканизованы очаги магматизма.

По Тихому океану происходит столкновение плит, в частности, Тихоокеанской плиты и Евразийской и Северо-Американской плит. Тихоокеанская плита, имеющая более тонкую кору, погружается под плиты, с которыми сталкивается – происходит *субдукция*.

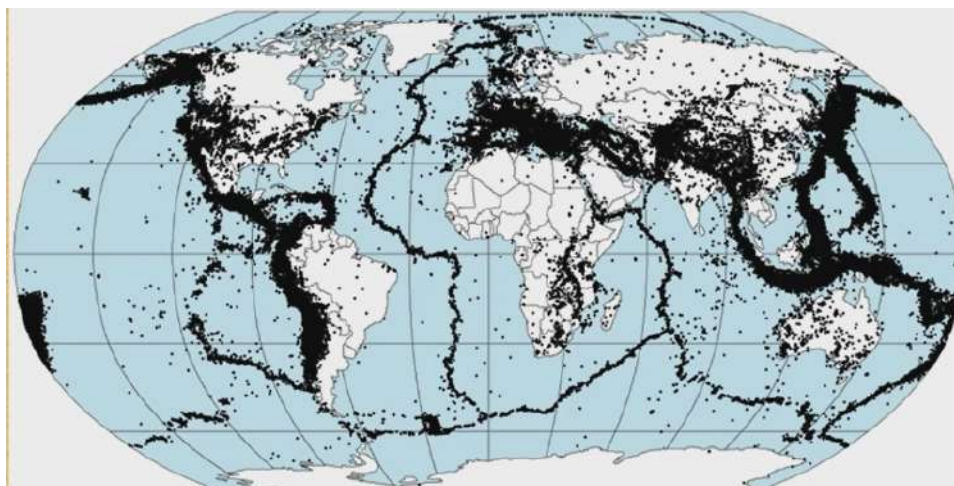


Рис. 6.2. Схема размещения эпицентров 358 214 землетрясений на поверхности Земли (1963-2018гг). 1) Тихоокеанское кольцо (75%), 2) Средиземноморско-Индонезийский пояс (15%), 3) Срединно-океанские хребты крупные сдвиги на континентах, рифтовые зоны континентов, (5%), 4) Вулканические области (5%).

Сейсмофокальные зоны Бенъофа

Глубину очагов возможно оценить благодаря современным методам исследований – геофизике. Было выяснено, что землетрясения ложатся по определенной зоне, не хаотичны. Наиболее ярко такая зона наблюдается на Японских островах.

Погружающаяся в глубь Земли (до 700 км) зона концентрации фокусов (гипоцентров) землетрясений, наклоненная под островные дуги или под континенты.

Наиболее многочисленны землетрясения глубиной до 70 км, более редки среднефокусные и более глубокие землетрясения (более 300 км).

Такие исследования дали ученым возможность утверждать, что происходит погружение плит – поглощение земной коры. Весь тихий океан обрамляется этими зонами.

6.2. Вулканические причины

Вулканические землетрясения происходят вследствие резких перемещений магматического расплава в недрах Земли или в результате возникновения разрывов под влиянием этих перемещений.

Один из методов предсказания извержения вулканов – предсказание по сейсмической активности. К вулканам подходит магма, перемещающаяся в более верхние горизонты. Пробираясь сквозь горные породы, она расталкивает и расклинивает их. Толчки, при этом образующиеся, вызывают сотрясение поверхности. Также ведется наблюдение за конусами вулканов – при извержении изменяется угол наклона конуса.

6.3. Экзогенные причины

Землетрясения связаны с карстовыми явлениями - провалами, обрушением сводов пещер или горных выработок, обвалами или крупными оползнями в горах.

Экзогенные землетрясения характеризуются небольшой силой и небольшой площадью воздействия.

6.4. Техногенные, антропогенные, причины

Землетрясения вызываются или ускоряются человеческой деятельностью. Например, в подземной горной выработке произошли нарушения технологий, выработка обвалилась – возникает антропогенное землетрясение. Наиболее опасны подобные ошибки в сейсмоактивных районах.

8 апреля и 17 мая 1976 г. в Бухарской области Западного Узбекистана, в пустыне Центральный Кызылкум, считавшейся до того слабо активной в сейсмическом отношении, произошли сильнейшие Газлийские землетрясения (магнитуда $M=7.0$ и $M=7.3$). В эпицентре 9-10 баллов по 12-балльной шкале очаг землетрясений располагался на глубине 20-25 км.

Следующий сильный подземный толчок с магнитудой $M=7.2$ был 20 марта 1984 г. в том же очаге, сместившись немного к западу. Интенсивная откачка газа из земных недр на Газлийском месторождении явилась "спусковым крючком" для сброса накопившихся тектонических напряжений в земной коре этого района.

Природно-техногенные землетрясения могут быть вызваны заполнением водохранилищ в сейсмически активных районах. Считается, что, если высота плотины составляет более 100м, она представляет сейсмическую опасность – породы, находящиеся под плотиной, под давлением воды испытывают изменения.

6.5. Прогноз и сейсмическое районирование

Прогноз землетрясений – заблаговременное предсказание места, интенсивности, времени сейсмического события. Первые два вопроса решает сейсмическое районирование.

Сейсмическое районирование позволяет прогнозировать, какой максимальной интенсивности могут достичь землетрясения в том или ином районе в будущем.

Сейсмическое районирование осуществляется следующим образом. Собираются исторические и геологические сведения по всем землетрясениям, когда-либо происходившим в данном районе. 15% территории Российской Федерации находится в зоне разрушительных землетрясений силой 8-10 баллов (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Карта сейсмического районирования России

6.6. Цунами

Цунами - это не одна чудовищная стена воды, это ряд морских волн, способных пересечь весь океан со скоростями до 900 км в час.

В море волны цунами не превышают по высоте 60 см - их трудно определить с корабля или самолета. Их длина иногда больше 250 км, что значительно больше глубины бассейна.

Цунами характеризуются огромной энергией, существенно большей, чем у ветровых волн. Цунами "чувствует дно" - даже в самом глубоком океане эти волны представляет движение всего столба воды. Когда цунами достигает мелководья, скорость волн уменьшается, но высота их растет.

Первое научное описание явления дал Хосе де Акости в 1586 г. в Лиме, Перу, когда после мощного землетрясения, цунами высотой 25 метров ворвалось на сушу на расстояние 10 км.

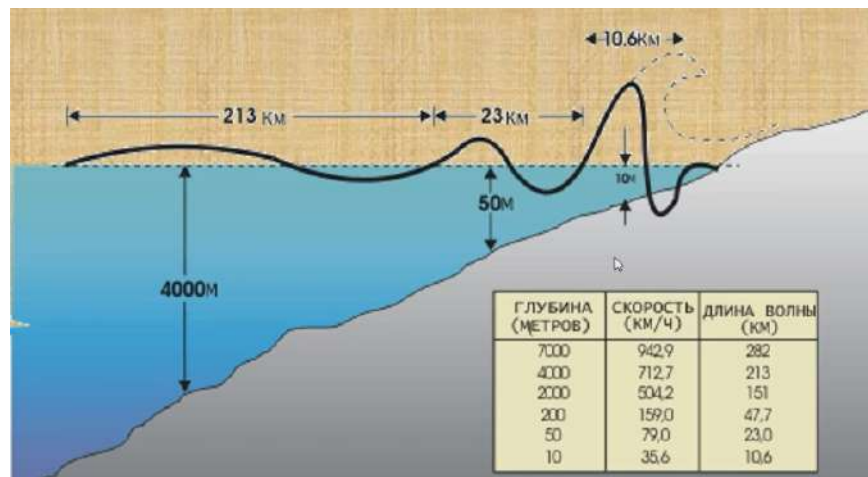


Рис. 6.4. Трансформация волн цунами

Волну практически не видно на поверхности, но при подходе к берегу она затормаживает обо дно, при этом вода, наступающая со страны океана, заставляет волну вырасти (рис. 6.4).

Появлению волн цунами часто предшествует постепенное отступление воды от берега в случае, когда перед первым гребнем волны идет впадина или подошва волны, или повышение уровня воды примерно до половины амплитуды последующего отступления. Это является своеобразным предупреждением о приближении цунами.

Причины возникновения цунами:

- Подводное землетрясение, свыше 90 % всех цунами
- Вулканические извержения
- Оползни (довольно редко)
- Человеческая деятельность
- Падение метеорита может вызвать гигантское цунами

Землетрясения

Наиболее часто и наиболее сильные цунами образуются во время резкого вертикального движения вдоль разлома при сильном землетрясении с магнитудой выше 7 (рис. 6.5). Вода реагирует на разлом понижением, затем возникает повышение и сама волна.

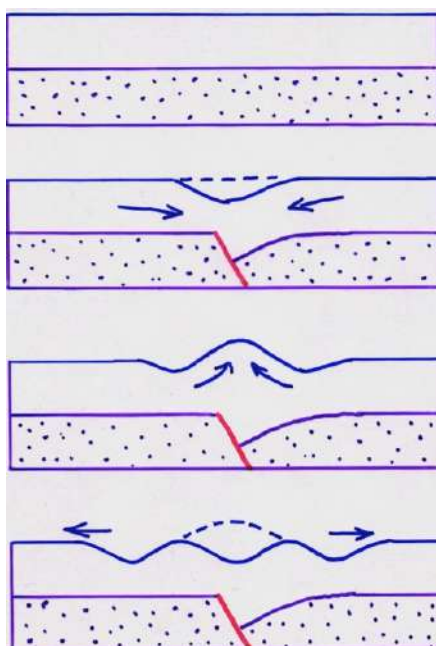


Рис. 6.5. Схема образования цунами по причине землетрясения

Статистика говорит о том, что в Тихом океане за последние 10 лет произошло более 70 цунами. В России (Тихоокеанское побережье) за 300 лет – 70 цунами. Самое разрушительное цунами произошло 4 ноября 1952 года (волна высотой 10- 14 м). Следствие его стало разрушение г. Северо- Курильск (о. Парамушир). Индийский океан за последние 125 лет понес 2 разрушительных цунами: 26 августа 1883 г. (Кракатау), 26 декабря 2004 г. (Суматранское землетрясение).

Чилийское землетрясение 1960 г. имело невероятно разрушительную силу. Возникшая волна цунами пересекла Тихий океан, достигнув берегов Японии, Австралии и Курильских островов. Скорость перемещения волны приблизительно составила 700 км/ч. Ущерб составил 550 млн. \$ 2 млн. людей остались без крова, 2000 погибло, 3000 ранены.

Цунами, вызываемое вулканами

В 1883 году в результате серии вулканических извержений вулкана Кракатау в Индонезии образовались мощные волны цунами. Налетев на острова Ява и Суматра, эти волны смыли более 5000 лодок и много мелких островов. Волны высотой с 12-этажный дом снесли с лица земли около 300 деревень и вызвали гибель более 36 000 людей. Оценено, что сейсмические волны обошли два или три раза вокруг Земли.

Цунами, вызываемое оползнем/обвалом

На острове Мадейра в 1930 году землетрясение вызвало обрушение обломка скалы с высоты 200м. На берег обрушилась волна высотой 15м.

В 1958 году, в следствие землетрясения в заливе Литуйя на Аляске, произошел обвал, около 81 млрд. тонн льда и пород обрушилось в море. В результате возникло цунами, которое с большой скоростью распространилось по заливу. Высота волн

оценивалась, как 350-500 м. Это самые высокие волны из всех зарегистрированных в истории цунами.

Цунами угрожает Майами, Вашингтону, Нью-Йорку и Бостону. Сейсмологи Сэм Стивен и Саймон Дэй пришли к выводу, что цунами может быть вызвано разрушением действующего вулкана Кумбре Вьеха на Канарском острове Сан-Мигель-де-ла-Пальма.

Последнее извержение вулкана в 1949 г. не вызвало серьезных последствий. Ученые полагают, что новое извержение способно породить бедствие планетарного масштаба. Выполненные ими расчеты показывают, что может произойти обвал объемом порядка 500 км³.

Если масса породы рухнет в Атлантический океан, образуется всплеск километровой высоты, волна будет распространяться преимущественно в западном направлении и обрушится на Америку.

В результате этого обвала возникнет волна высотой свыше 150 метров, движущаяся со скоростью 800 км в час.

Антропогенные причины цунами

В 1946 году США произвели в морской лагуне глубиной 60 м подводный атомный взрыв с тротиловым эквивалентом 20 тыс. тонн. Возникшая при этом волна достигала высоты 40 м, на расстоянии 300 м от эпицентра взрыва - 28,6 м, а в 6,5 км от эпицентра взрыва она достигала 1,8 м.

В настоящее время любые подводные испытания атомного оружия запрещены серией международных договоров.

Падение метеорита

Падение метеорита способно вызвать цунами. Одной из наиболее вероятных причин массового вымирания на рубеже мела и палеогена (65 млн. лет назад) считается падение на Землю крупного астероида в районе полуострова Юкатан, Мексика. Считается, что падение вызвало серию цунами.

Лекция 7. Магматизм. Интрузивный магматизм

7.1. Магматизм

Протекающие на Земле процессы разделяют на:

- *экзогенные* - процессы внешней динамики
- *эндогенные* - процессы внутренней динамики.

Экзогенные процессы - деятельность ветра, поверхностный и подземных вод, выветривания, ледников, океанов и морей и т.д.

Эндогенные процессы - магматические, метаморфические и тектонические процессы.

Главные черты рельефа и внутреннего строения Земли обязаны действию внутренних (эндогенных) сил. Детали рельефа, его тонкая скульптура выработаны действием поверхностных, внешних (экзогенных) факторов.

Эндогенные силы наиболее ярко проявляются при магматизме и землетрясениях.

Магматизм

Магматизм - процесс образования и перемещения из глубоких недр Земли к её поверхности горячих силикатных расплавов (*магм*), содержащих в растворённом виде летучие компоненты (пары воды и различные газы). Магматизм принято делить на *интрузивный* и *эффузивный*.

Магматизм глубинный, или интрузивный (лат. интрузио - проникать, внедрять), или *плутонизм*. При интрузивном магматизме магма не достигает поверхности Земли и затвердевает на глубине (рис. 7.1). Магматические расплавы внедряются в земную твердь и застывают. Но, поскольку Земля испытывает колебательные движения, при вздымании застывшая часть оказывается на поверхности.

Магматические породы очень устойчивы к процессам выветривания и денудации. Самая распространенная интрузивная порода – *гранит*.



Рис. 7.1. Интрузивный массив Лос-Куэрнос (рога), Чили

Понятие о магме и магматическом очаге

Магма (от греч. - густая мазь) - флюидно-силикатный расплав. Магма - трёхкомпонентный расплав, состоящий из жидкости, твёрдых кристаллов и летучих компонентов (флюидов), находящихся как в растворённом виде, так и в виде газовых пузырьков.

Источники информации о магме

- Наблюдаемые извержения
- Разнообразные магматические породы.
- Данные экспериментальной петрологии
- Геофизика

Зарождение магм

Магматические расплавы зарождаются в земной коре и верхней мантии на глубинах от 10-15 до 250-300 км (рис. 7.2). *Астеносфера* - главная область генерации магмы, где расплав (1-5%) заполняет межзерновое пространство.

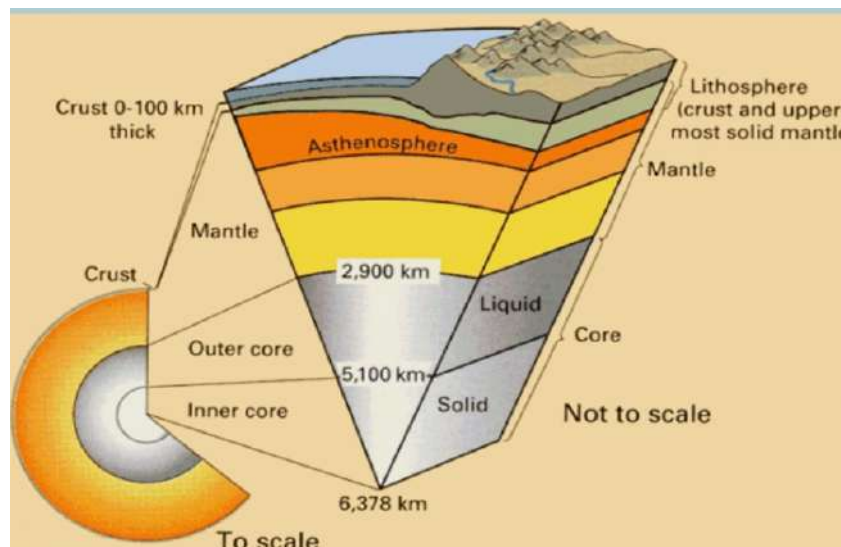


Рис. 7.2. Зарождение магм

Магматические очаги возникают в результате частичного плавления мантийного или корового вещества. Расплав начинает зарождаться по границам минеральных зерен, либо по их трещинам.

Причины плавления:

Астеносфера является основным поставщиком магматических расплавов. Но первичные очаги плавления могут возникать выше астеносферы - в литосфере. Причины этому следующие:

- Увеличение температуры выше точки плавления при постоянном давлении.
- Быстрый, почти изотермический подъём нагретого вещества.
- Резкое падение литостатического давления.

- Увеличение флюидного давления при дегидратации минералов, содержащих гидроксид-ион.

7.2. Магматические горные породы

По генезису магматические горные породы делятся на:

- *Интрузивные* (внедрившиеся, плутонические) - образуются в толще земной коры на различных глубинах (рис. 7.3).
- *Эффузивные* (излившиеся, вулканические) - образуются на поверхности земной коры в морских или наземных условиях (рис. 7.4).
- *Вулканоогенно-обломочные* (пирокластические) - образуются в результате осаждения обломочного вулканоогенного материала, выброшенного в атмосферу при взрывных извержениях (рис. 7.5).



Рис. 7.3. Интрузивные горные породы (г. Аюдаг, Крым)

Куполообразное тело застыло на глубине, после чего часть земной коры поднялась, оно оказалось на поверхности.



Рис. 7.4. Эффузивные горные породы (Гавайи)

В основном такие излияния происходят в срединно-океанических хребтах на глубинах до 4 км. На поверхности в наземных условиях такие излияния происходят реже. Изливающаяся лава жидкая, даже при небольших наклонах поверхности она может стекать со скоростью до 60 км/ч.

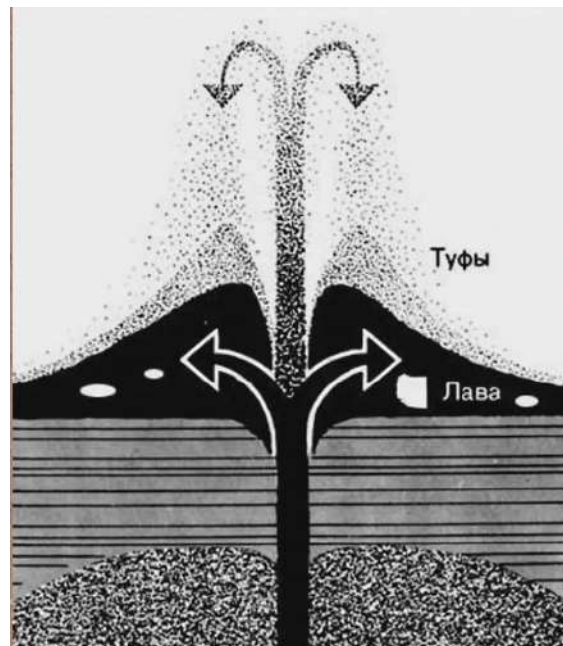


Рис. 7.5. Вулканогенно-обломочные горные породы

Кроме того, горные породы делятся по составу: кислые, средние, основные, ультраосновные в зависимости от содержания в них кремнезема (в этом ряду – от большего содержания к меньшему).

7.3. Интрузивный магматизм

Наблюдения показывают, что 90% магмы не изливается на земную поверхность, а затвердевает на той или иной глубине, образуя интрузивные (внедрённые) тела - *интрузивы*.

Размеры интрузивов меняются от сотен километров в поперечнике до тел шириной не более нескольких сантиметров, объёмы - от тысяч кубических километров до первых кубических метров.

Первоначально интрузивы располагаются на глубине от нескольких сотен метров до многих километров, недоступны для прямых наблюдений и фиксируются по характеру распространения упругих волн, тепловым и другим геофизическим аномалиям.

Интрузивы становятся доступными для изучения после выведения на дневную поверхность благодаря подъему блоков земной коры и удалению перекрывающих их пород.

Элементы строения интрузива

Зона эндоконтакта - внутренняя зона изменения пород интрузивного тела.

Зона экзоконтакта - внешняя зона теплового воздействия интрузивного тела на вмещающие породы (рис. 7.6).

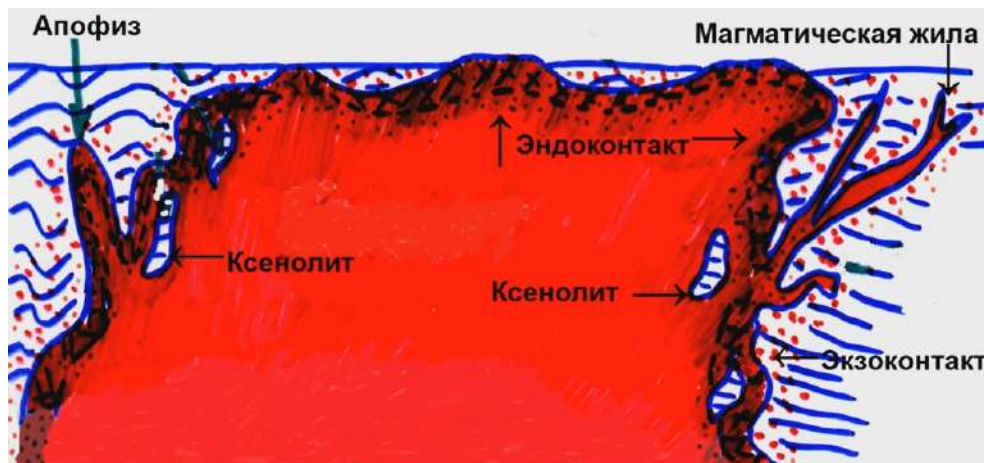


Рис.7.6. Элементы строения интрузива

Глубина формирования интрузивов зависит от первичного очага, объемов расплавленного вещества, температуры и т.д. (рис. 7.7). Выделяют глубинные тела, среднеглубинные и близповерхностные.

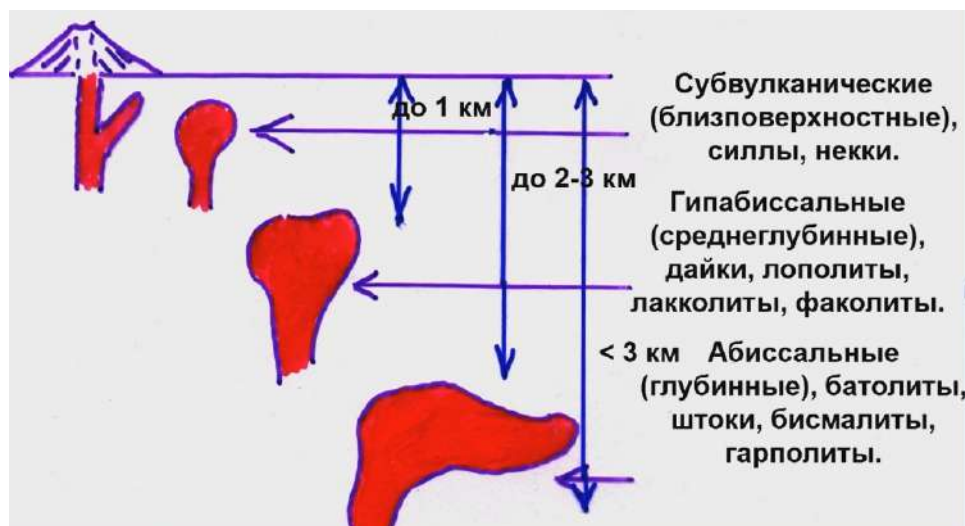


Рис. 7.7. Условное разделение интрузивов по глубине формирования

85% всех интрузивных тел сложено гранитоидами, 10% породами среднего состава. Основные и ультраосновные породы составляют не более 3-5%.

Систематика интрузивных тел, отражающая их размеры, форму и взаимоотношения с вмещающими осадочными породами (рамой), предложена Р. Дели (США) в 1914 году.

Систематика носит формальный и довольно условный характер, но удобна тем, что каждый из выделенных типов интрузивов обладает некоторыми общими чертами строения.

По отношению к слоистости вмещающих пород или к структурным формам залегания пород интрузии делят на *согласные* (рис. 7.8, а) и *несогласные (секущие)* (рис. 7.8, б).

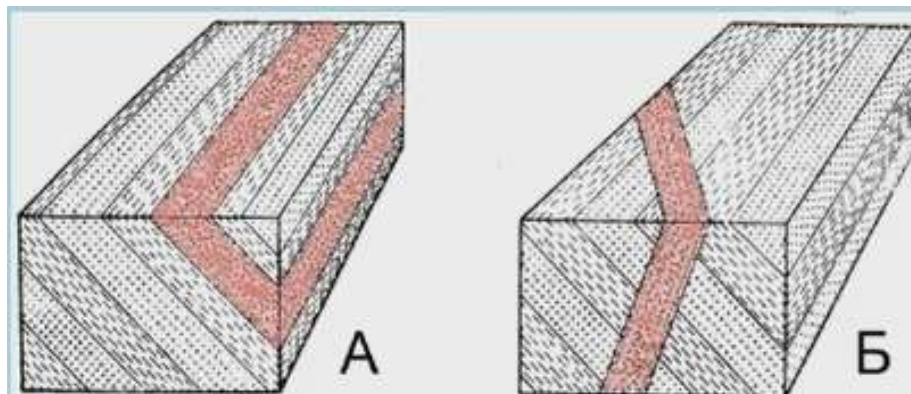


Рис. 7.8. Согласные и несогласные интрузивы

Часто лавы проникают в слоистые толщи. По тому, как одни породы сменяют другие в слоистых толщах, возможно отмечать проникновение лав.

Согласные интрузии не прерывают слоистость вмещающих пород, несогласные – секут их.

Силлы – пластовые интрузии, залегающие согласно (рис. 7.9). По контактам этих пород отмечается осветление.



Рис. 7.9. Силлы

Силлы - плоские, интрузивные тела преимущественно основного состава мощностью до 500 м. Образуются на небольшой глубине. Могут быть наклонными, горизонтальными, вертикальными.

Площади их огромны - тысячи и десятки тысяч км². Возможно, что широкое растекание связано с расклинивающим действием флюидов и магмы.

Часто образуют многоэтажные сложные комплексы- *трапповую формацию* (рис. 7.10), широко развитую на платформах.



Рис. 7.10. Траппы Восточной Сибири

Лакколиты - линзовидные интрузивные тела (3-6 км) с выпуклыми или куполообразными верхними и относительно горизонтальными нижними поверхностями.

Залегают согласно, на небольшой глубине. Состав магмы средний. Грибообразная форма указывает на активное внедрение магмы под большим давлением, приводящему к раздвиганию слоёв и образованию сводового поднятия пород кровли (рис. 7.3, 7.11).

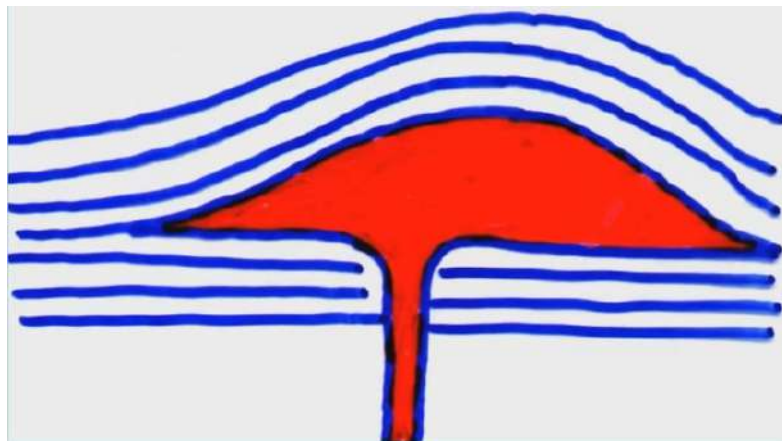


Рис. 7.11. Схематическое изображение лакколита

Представляют собой небольшие, частично согласные интрузивные тела, имеющие форму перевернутой капли. В кровле имеют согласные контакты с вмещающими породами, в боковых стенках - секущие.

Несогласные (секущие) интрузивные тела

Дайка - интрузив плоской формы, небольшой мощности при значительной длине. Мощность даек составляет от нескольких см до нескольких км.

Дайка представляет собой трещину, заполненную магматическим расплавом (рис. 7.12). При небольшой мощности дайки могут протягиваться на значительные расстояния.



Рис. 7.12. Дайка

Самая крупная дайка – *Великая дайка Зимбабве*. Интрузив с крупнейшими месторождениями хромовых руд. Протягивается на 560 км при мощности от 3,2 до 12,3 км.

Некки (вулканические жерла)

Некки – цилиндрические интрузивные тела, заполняющие жерла вулканов, обычно диаметр не более 1,5 км.

Некки прочнее вмещающих пород, поэтому, после разрушения эрозией вулканических построек, некки сохраняются в рельефе в виде шпилей или башен (рис. 7.13).



Рис. 7.13. Башня дьявола, Вайоминг

Штоки

Столбообразные интрузивы с крутыми контактами, в плане изометрической формы, площадь выхода на поверхность <100 км (рис. 7.14).

Штоки сложены самыми различными по составу породами от гранитов до ультраосновных.

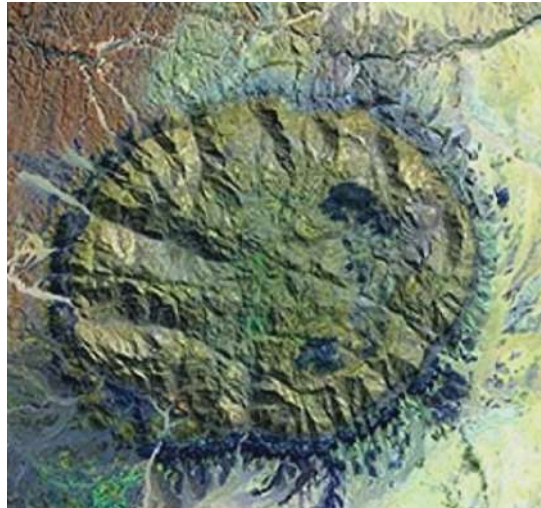


Рис. 7.14. Шток Брамберг (Намибия)

Батолиты

Самые крупные ($S > 100 \text{ км}^2$) интрузивные тела. В плане имеют удлиненную форму. Размеры батолита Берегового хребта 1700 км на 80-100 км (рис. 7.15).

В Андах гранитный батолит протягивается на 6000 км от Огненной Земли до севера Перу. Его ширина ~100 км.



Рис. 7.15. Батолиты

7.4. Эффузивный магматизм. Вулканизм

Вулканизм - внешнее проявление магматизма Земли, объединяющий все явления, связанные с выходом магмы на земную поверхность.

Магма, попавшая на земную поверхность, становится лавой. От магмы она отличается составом – происходит отделение газо-жидких составляющих.

Вулканизм - одно из самых впечатляющих проявлений внутренней энергии Земли. Земля всегда была магматически активна. Только за фанерозой на её поверхность было вынесено >600 млн. км³ вулканического материала.

Вулканизм - процесс конструктивный. Создаёт острова, хребты, горы, вулканические поля и плато.

Дно Мирового океана, сложенное базальтами - результат вулканической деятельности (срединно-океанические хребты). В центре хребтов располагается рифтовая долина, из которой постоянно идут извержения базальтовых расплавов. Кроме того, извержения вулканов создали современную атмосферу и гидросферу.

Любое вулканическое извержение - это процесс дегазации магмы - удаление летучих компонентов.

Газы – движитель извержения. Газы насыщают магму – силикатно-газовый расплав. При образовании расплава по физическим законам начнется его движение к поверхности Земли. Чем выше проникает магма, тем быстрее от нее отделяются летучие компоненты – давление падает, газы начинают отделяться.

Широко известная модель извержения – бутылка шампанского. Процесс начинается только после удаления пробки. Магматическое извержение также начинается с «удаления пробки» - снятия или преодоления давления вышележащих пород. При продвижении магмы к жерлу ощущаются землетрясения.

Способ и скорость отделения летучих от магматического расплава, его вязкость определяют главные типы вулканических извержений:

1. Если магма маловязкая, подвижная, летучие отделяются спокойно. Происходит излияние лавы (эффузия) с образованием лавовых потоков (рис. 7.16).

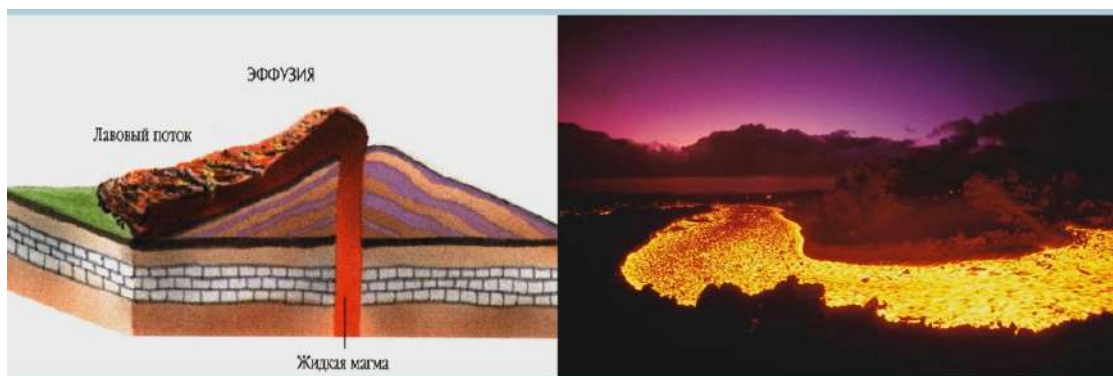


Рис. 7.16. Эффузия с образованием лавовых потоков

Маловязкие жидкие магмы основного состава спокойно изливаются и растекаются в виде лавовых потоков протяженностью в десятки и сотни км (рис. 7.17). Около кратера вулкана не наблюдается острых пиков.



Рис. 7.17. Вулкан Мауна-Лоа, Гавайи. Лавовые покровы и потоки

2. Если газы отделяются быстро, то происходит вскипание магматического расплава, и он разрывается расширяющимися газовыми пузырьками. Происходит взрывное извержение – эксплозия (рис. 7.18).



Рис. 7.18. Эксплозия

3. Если магма вязкая и температура её невысока, то расплав медленно выдавливается из жерла вулкана. Происходит его выжимание на поверхность – экструзия (рис. 7.19).



Рис. 7.19. Экструзия

Лекция 8. Магматизм. Вулканизм

8.1. Продукты вулканических извержений

Состав вулканических газов и их концентрация меняются в пределах одного вулкана и зависят от температуры лав.

Извержения вулканов создали современную атмосферу и гидросферу (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Извержение Сент-Хелен, США, 1980 г.

Во время извержения Сент-Хелен было выброшено огромное количество газа и пепла, которые повредили растительному и животному миру.

Состав летучих сложен и изучен недостаточно, т.к. прямым измерениям на глубине недоступен, а на поверхности состав изменяется. В действующих вулканах среди летучих содержатся:

- **водяной пар (H_2O) - 50-90%**,
- углекислый газ- оксид углерода (CO), азот (N_2)
- диоксид серы (SO_2)
- триоксид серы (SO_3),
- газообразная сера (S),
- водород (H_2),
- аммиак (NH_3),
- хлористый водород (HCl),
- фтористый водород (HF),
- сероводород (H_2S),
- метан (CH_4),
- (Cl) и др.

Жидкие продукты вулканических извержений

Лава – дегазированный магматический расплав, достигший поверхности Земли. Потоки лавы могут быть разнообразны. На это влияют химический состав, температура,

содержание летучих. Они определяют форму, протяженность, строение поверхности лавовых потоков. Так, базальтовые (основные) лавы обладают очень большой подвижностью, могут легко растекаться и достигать скорости до 60 км/ч. Они образуют протяженные лавовые потоки, более 100 км. Толщина потоков обычно 3-15 метров (рис. 8.2).

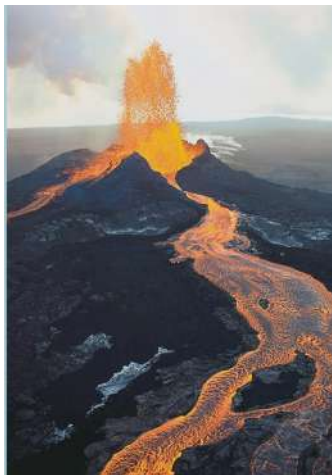


Рис. 8.2. Вулкан Килауэа

По характеру строения поверхности лавового потока выделяют четыре основных типа лав:

1. Пахоэхоэ, или канатные лавы - самые жидкие и подвижные (рис. 8.3). При остывании поверхность потока сморщивается и приобретает различную форму. Канатные лавы - поверхность потока похожа на лежащие канаты.

Их образование происходит следующим образом. Попадая на поверхность, верхний слой лавы быстро схватывается и застывает. Но внутри находится еще жидкая лава, продолжающая движение, что и приводит к такому смятию.

Жидкая лава может протекать настолько быстро, что оставляет за собой полые пространства (рис. 8.4). Также, могут возникать лавопады и конусы разбрызгивания (корнито) (рис. 8.5).



Рис. 8.3. Пахоэхоэ



Рис.8.4. Лавовый тоннель



Рис. 8.5. Лавопад

2. Аа-лава - более вязкая, менее подвижная, в ней больше кремнезема SiO_2 (рис. 8.6). При остывании поверхность потока покрывается остроугольными обломками с многочисленными шипами, образующимися при неоднократном дроблении твёрдой корки потока.

Чаще всего представлена обломками, поскольку образуется корка, а лава продолжает движение – корка начинает разламываться. Поверхность застывшей аа-лавы похожа на шлак.

3. Глыбовые лавы - имеют ещё большую вязкость. Образуют короткие и мощные потоки, поверхность которых покрыта большими угловатыми глыбами образовавшихся при разламывании затвердевшей поверхности потока (рис. 8.7).

При движении потока куски застывшей верхней корки отваливаются, падают вниз и перекрываются лавой. В результате в основании потока образуется слой лавы, обогащённый обломками – *лавобрекчия* (рис. 8.8).



Рис. 8.6. Аа-лава



Рис. 8.7. Поток глыбовых лав (Камчатка)



Рис. 8.8. Лавобрекчия

Столбчатая отдельность

В какой-то момент лавовый поток останавливается и начинает остывать. Остывание снизу происходит более медленно, поскольку лавовая подушка держит тепло.

Массы лавы начинают растрескиваться. Это происходит по закономерным направлениям. Часто это шестигранные фигуры. Такие образования называются *отдельностью* (рис. 8.9). Растрескивание происходит благодаря уменьшению объема лав при остывании.



Рис. 8.9. Столчатая отдельность

4. Пиллоу-лавы (подушечные) - особый тип базальтовых лавовых потоков, образующихся только в подводных условиях (в рифтовых долинах срединно-океанских хребтов) (рис. 8.10).



Рис. 8.10. Подушечные лавы

Лава выжимается из разломов и рифтовых зон. Попадая на дно океана, она быстро приобретает округлую форму благодаря огромному перепаду температур (около 1000 °С). Характерной особенностью подушечных лав является то, что одна сторона у них более выпуклая, а другая более уплощенная. Это связано с тем, что при образовании внизу лава продавливается своим весом, образуя более уплощенную поверхность (аналогия – выпечка пирожков). В разрезе «подушек» четко видна внешняя быстро застывшая стекловатая корка и внутреннее ядро.

Некоторые вулканы извергаются со взрывом. При извержении могут возникать электрические разряды – *сухие грозы*.

Твердые продукты вулканических извержений

Пирокластический рыхлый материал - *тефра*, сцементированный - *туф*. В зависимости от величины обломков различают вулканические бомбы, лапилли, и пепел (рис. 8.11).



Рис. 8.11. Вулканические бомбы

Во время полёта лава охлаждается, затвердевает и принимает разнообразную форму. Бомбы могут иметь разную форму – например, веретенообразную (рис. 8.12).



Рис. 8.12. Веретёнообразная бомба

Лапилли (от лат. lapillus - камешек) - пузырьчатые угловатые или обломки пемзы величиной от горошины до грецкого ореха (3-6 см) (рис. 8.13)

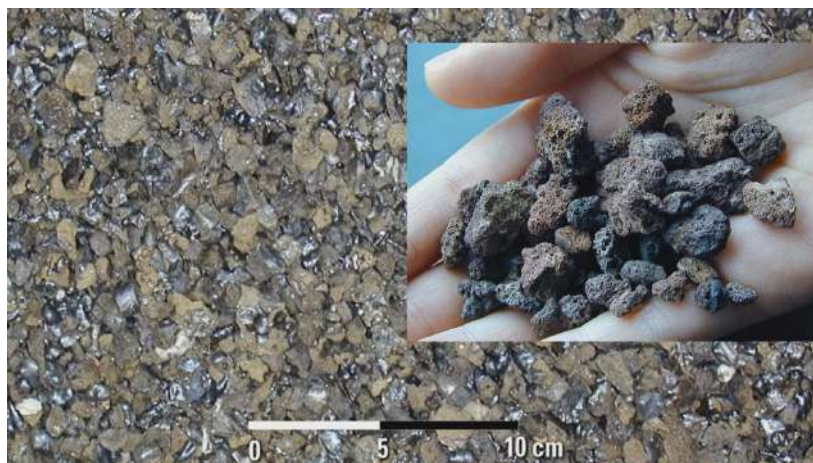


Рис. 8.13. Лапилли

Экзотическими типами лапиллий являются *волосы Пеле* и *слезы Пеле*. Пеле – Богиня огня у гавайских туземцев. Эти породы являются стеклом. Лава на Гавайях очень жидкая. Закипая, она выбрасывает капли, которые мгновенно застывают (рис. 8.14).



Рис. 8.14. Слезы Пеле

За каплями тянется хвостик из стекла, который застывает и превращается в стеклянную нить (рис. 8.15). Наиболее активно образование таких пород происходит при активной деятельности ветра.



Рис. 8.15. Волосы Пеле

Вулканический песок - шлаковые частицы лавы величиной от 1-2 мм до горошины, перемешанные с мелкими кристаллами или обломками кристаллов различных минералов.

Вулканический пепел – мелкая (от долей до миллиметра) пыль белого, серого, бурого или чёрного цвета, состоящая из частиц лавы, вулканического стекла, осколков минералов, обломков стенок кратера. Представляет собой очень мелко порубленное стекло.

Вулканический пепел составляет главную массу твердого пирокластического материала. Частицы пепла очень пористые, поскольку со взрывом извергаются вулканы, в которых магма содержит большое количество газа.

На поверхности Земли рыхлая тефра уплотняется, цементируется и превращается в туф. Объёмы пирокластического материала в десятки раз превышают объёмы излившихся лав.

8.2. Вулканические аппараты и постройки

В зависимости от строения и взаимного расположения магмовыводящих каналов различают вулканические аппараты:

- трещинного (линейного),
- ареального,
- центрального типов.

В зависимости от строения и формы вулканической постройки различают вулканы *щитовые* и *слоистые (стратавулканы)*. В зависимости от количества извержений различают вулканы *моногенные* и *полигенные*.

Линейные (трещинные) аппараты

При трещинном типе извержения роль магмовыводящего канала играет глубокая протяженная трещина (рис. 8.16). Расплав выходит либо вдоль всей трещины, либо на одном или нескольких участках. При этом лава не образует ярко выраженных конусов. Также извергаются лавы в срединно-океанических хребтах.



Рис. 8.16. Вулкан Лаки, Исландия. Извержение 1783 г. Трещина длиной 25 км. Было выведено 11,7 куб. км лавы.

Ареальный тип вулканического аппарата

Ареальный тип вулканизма – массовые извержения на обширной площади через множество мелких трещин, которые, закупориваясь, отмирают и заменяются новыми. Так извергается часть вулканов на Камчатке.

Вулканические аппараты центрального типа

У вулканов центрального типа, как правило, один трубообразный магмовыводящий канал. В плане вулканы имеют округлую форму (рис. 8.17).



Рис. 8.17. Вулкан Эльбрус

Форма и внутреннее строение вулкана центрального типа зависит от свойств магмы.

Щитовые вулканы

При извержении основной, базальтовой жидкой лавы выбросы пирокластического материала крайне незначительны. Образуются вулканы с очень пологими (5-10°) склонами, сложенными только лавой, образующей покровы (рис. 8.18). Эти вулканы имеют форму огромных пологих щитов диаметром в десятки км, а высотой в несколько км.



Рис. 8.18. Величайший щитовой вулкан Мауна-Лоа. Диаметр 200км, высот >9 км

Стратовулканы

Извержения более кислой лавы сопровождаются частыми взрывами, выбросами пирокластики и образованием на склонах шлейфов из тефры.

Вулканы, конусы которых сложены чередующимися потоками лавы и слоями пирокластического материала, называют *слоистыми (смешанными) или стратовулканами* (рис. 8.19).



Рис. 8.19. Вулкан Килиманджаро. Крутизна склонов конусов стратовулканов 20-30 км. Высота от основания 3-4 км.

В строении стратовулканов выделяют жерло и первичную чашу вокруг жерла – *кратер*.

Вулкано-тектонические структуры – отрицательные формы рельефа, связанные с вулканами (рис. 8.20).

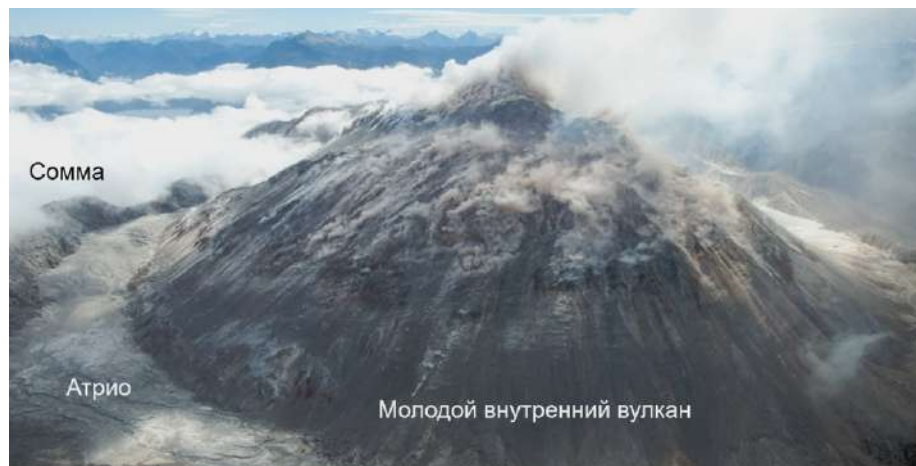


Рис. 8.20. Вулкано-тектонические структуры

Взрывное извержение вулкана привело к построению нового конуса – молодой внутренней вулкан. Между соммой (краем) и молодым внутренним вулканом располагается атрио.

8.3. Категории вулканических извержений

1. **Эффузивные извержения** - излияния основной базальтовой, подвижной, жидкой лавы. Проявляются главным образом на островах в океане.

а) *Гавайский тип*. Плоские щитовые вулканы центрального типа (рис. 8.21).



Рис. 8.21. Вулкан Мауна-Кеа

б) *Исландский тип*. Трещинные вулканы



Рис. 8.22. Камчатка

2. **Эффузивно-эксплозивные извержения** – извержения средней андезитовой лавы, выбросы твёрдых и газообразных продуктов (рис. 8.23).



Рис. 8.23. Стромболи

Вулкан Парикутин (Мексика) - вулкан, возникший на глазах человека. 20. 02. 1943г. - 09.03. 1952г. Возник на кукурузном поле Доминика Пулидо. 1 день - конус 10 м из шлака и пепла, через неделю - 150 метров, через год - 336 м Последовательность образования была следующая: выбросы пепла и газа, образование конуса, затем кратера и, наконец лавы в июле 1944 года.

3. Эксплозивно-экструзивные извержения – взрывные выбросы твёрдых и газообразных продуктов, извержение или выдавливание малого количества лавы среднего или кислого риолитового состава (рис. 8.24).



Рис. 8.24. Вулкан Шивелуч

4. Эксплозивные извержения - мощные взрывные с выбросами огромного количества газов и пепла. Лава кислого состава, на поверхности не появляется (рис. 8.25).



Рис. 8.25. Катмай (Аляска)

Классификации вулканов по типу извержений условны. Извержения многих вулканов занимают промежуточное положение между выделяемыми типами. Со временем некоторые вулканы могут менять характер извержения.

8.4. Поствулканические явления

Поствулканическая стадия характеризуется выходом на поверхность горячей воды (*гейзеров*) и *газо-паровых струй - фумарол* (лат. «фумус» - дым).

По составу газов и температуре фумаролы делят на:

- *Сухие*, температура > 500 С, пары воды отсутствуют, содержат хлористые соединения натрия и калия...
- *Кислые*, температура 300-400 С, содержат пары воды, хлористый водород, диоксид серы ...
- *Щелочные*, температура > 180 С, содержат пары воды, аммиак, сернистый газ...
- *Сернистые* (сульфиды), температура 100-180 С, преобладают сероводород и сернистый газ.
- *Мофетты*, температура < 100 С, преобладает углекислый газ.

Гейзеры

В трещины неостывших пород в вулканических провинциях попадает вода, достигает раскаленных пород и начинает вскипать, увеличиваться в объеме, что приводит к выбросам водно-паровых струй (рис. 8.26). После выброса какое-то время происходит накопление и нагревание воды, затем процесс повторяется.



Рис. 8.26. Долина гейзеров (Камчатка)

Термальные источники

Вода, обогащенная минеральными компонентами от магматических очагов, выносит на поверхность различные полезные компоненты. Многие минеральные воды связаны с вулканическими провинциями (рис. 8.27).



Рис. 8.27. Памуккале, Турция

Грязевые вулканы

Грязевые вулканы не все связаны с вулканизмом.



Рис. 8.27. Грязевой вулкан

Поствулканические явления широко используются в энергетике и медицине. В Исландии гейзеры используются в качестве курортов и здравниц, за счет вод гейзеров происходит обогрев зданий. Электричество также получают из горячей воды.

8.5. Распространение вулканов на Земле

В Тихом океане известно порядка 10 тыс. вулканов. Всего на суше известно около 800 вулканов, действовавших в историческое время и более 10 тысяч в океанах. Подавляющее большинство наземных и подводных вулканов локализовано на границах литосферных плит (рис. 8.28).

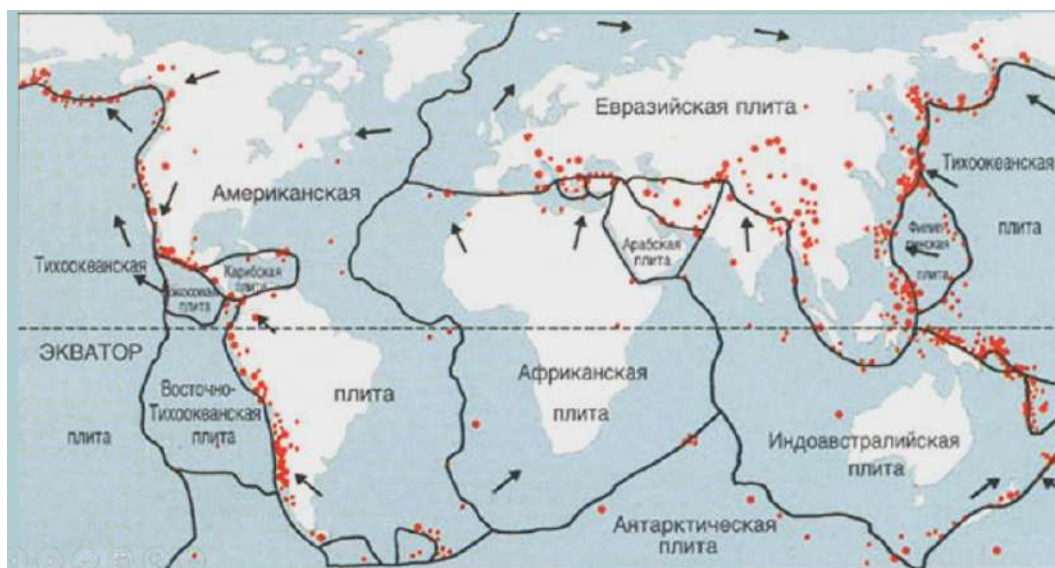


Рис. 8.28. Распространение вулканов на Земле

8.6. Исторические катастрофы

Вулкан Санторин. Сейчас – вулканический архипелаг в Эгейском море, в 120-130 км к северу от Крита. Представляет собой кальдеру площадью 83 кв.км, глубиной 300-400 м. Мощнейшее взрывное извержение произошло здесь в 1400- 1500 году до н.э., что привело к гибели Крито- Минойской цивилизации.

Возможно, что с катастрофой Санторина связаны 4 известных события, описанных Платоном и Библией:

- Гибель Атлантиды.
- Сгустившаяся ночь, которая позволила сынам Израилевым бежать из Египта.
- Расступившееся Красное море.
- Упадок и исчезновение Крито- Минойской культуры.

Вулкан Везувий. Единственный действующий вулкан континентальной Европы. Находится на юге Италии в ~ 15 км от Неаполя. Высота 1281 м. Известно о более чем 80 извержениях. Сильнейшие - в 79 (24 августа) – самое известное извержение, когда погибли города Помпеи, Геркуланум и Стабии, 1631, 1779, 1794, 1822, 1872 и 1906 гг. Последнее - в 1944 году.

Извержение 79 года широко известно, поскольку велась поминутная запись событий римскими авторами, в том числе и Плинием-младшим в письме к Тациту. Это извержение иногда называется извержением *пинийского типа*.

Начало извержения ознаменовалось сейсмическими толчками и выбросами пепла. Затем сильнейший взрыв, выброс громадной тучи из горячих газов, пепла, мелких обломков и бомб. Пеплопад продолжался в течение нескольких дней. Слой пепла толщиной достигал 6-8 метров. Сейчас Помпеи далеко от моря

В результате взрыва образовалась кальдера диаметром 15 км. Уничтожены 3 города: Помпеи и Стабии засыпаны пеплом, Геркуланум стёрт лахарами. В Помпеи погибло ~ 20 тыс. чел.

Вулкан Кракатау. Извержение произошло 26-27 августа 1883 г. Хронология событий следующая:

- Образование кальдеры Кракатау на месте голоценового вулкана (~10 тыс. лет).
- Историческое время: рост вулканов Раката (813 м), Данан (450 м), Пербуватан (120 м). В результате слияния конусов образовался остров Кракатау длиной 9 км, шириной 5 км.
- Взрыв вулканов в 1883 г. Данан и Пербуватан уничтожены, образовалась подводная кальдера 5,5x4,0 км и глубиной 300м. Раката потерял северную половину.

Зона распространения звука взрыва достигла 5000 км. Ударная волна 3 раза обошла вокруг Земли, отмечалась сейсмостанциями Европы. Пепел и мелкие обломки пемзы (18 км 3) были подняты на высоту 70-80 км, площадь пеплопада составила 825 600 кв. км. Как следствие, возникло несколько цунами (до 40 м), которые уничтожили всё на побережьях Явы, Суматры и других островов. Погибло более 36 000 чел. В 1927 г. Начался рост нового конуса Анак-Кракатау.

Вулкан Мон-Пеле. Извержение произошло 8 мая 1902 года. Произошел страшный взрыв, выброс пирокластической массы, палящая туча надвинулась на г. Сен-Пьер. Скорость ее составляла порядка 150м/с. Все население города (30 тыс. человек) погибло, сгорели все 18 кораблей на рейде. Спасся один человек – Агусте Кипарис, находившийся в подземной тюрьме.

Лекция 9. Тектоника литосферных плит

9.1. Эволюция тектонических взглядов

К середине XVIII в. сложились две основные тектонические гипотезы: *нептунизм*, согласно которому, все горные породы, включая и вулканические, считались произошедшими из водных осадков, и *плутонизм*, считавший вулканизм главной причиной образования и преобразования земной коры.

Во второй половине XIX в. на первый план выходит *контракционная гипотеза*, основанная на космогонии Канта-Лапласа о первично раскаленной Земле, она объясняла тектонические деформации сжатием Земли и ее оболочек при охлаждении.

На рубеже XIX - XX вв. возникло учение о геосинклиналях – горные системы возникают на месте ранее существовавших крупных прогибов - *геосинклиналей*.

Пульсационная гипотеза, предложена в начале XX в. и состоит в том, что на протяжении многих миллионов лет объем Земли периодически изменялся, эпохи расширения с заложением прогибов чередовались с эпохами сжатия и горообразования.

В 20-ых годах XX в австрийский геофизик А. Вегенер (1880-1930) предложил *гипотезу дрейфа континентов*, согласно которой положение континентов на земном шаре не является неизменным.

Выводы А. Вегенера основывались на:

- предположении существования различий в строении континентальной и океанической коры;
- сходстве береговых очертаний материков Южной Америки и Африки, продолжении структур и массивов от континента к континенту;
- общности органического мира и климата в прошлом, в пространственно разобщенных в настоящее время регионах мира;

Он сделал вывод о том, что раньше существовал *суперматерик Пангея* (от греч. Всеземля, единая земля, или *pan* - все и *ge* – земля), возникший около 220 миллионов лет назад, распад которого начался в юрском периоде 180 млн. лет назад и продолжается до настоящего времени. То есть, материки находятся в постоянном движении, или дрейфуют.

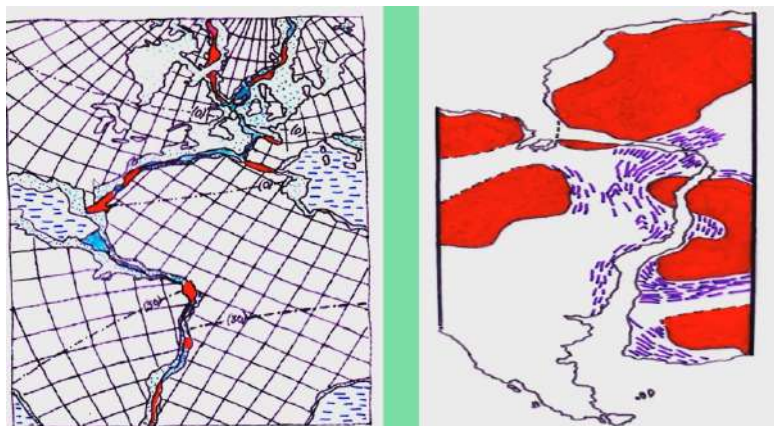


Рис. 9.1. Сопоставление контуров континентов и совмещение структур на краях Африки и Южной Америки

Единый континент начал распадаться. На рис. 9.1. можно наблюдать обратную картину – если сложить континенты, существующие в настоящее время, они, как пазл, сложатся в единый континент. Можно наблюдать, что от одних континентов к другим протягиваются горные хребты (в настоящее время они разделены океанами).

Распад Пангеи, согласно концепции А. Вегенера, происходил следующим образом. Пангея раскололась на два крупных материка - *Лавразию* и *Гондвану*. Части суперматерика начали двигаться в разные стороны, и, к настоящему времени, имеются четкие очертания континентов (рис. 9.2). Это продолжалось не меньше 200 млн лет и продолжается до сих пор.

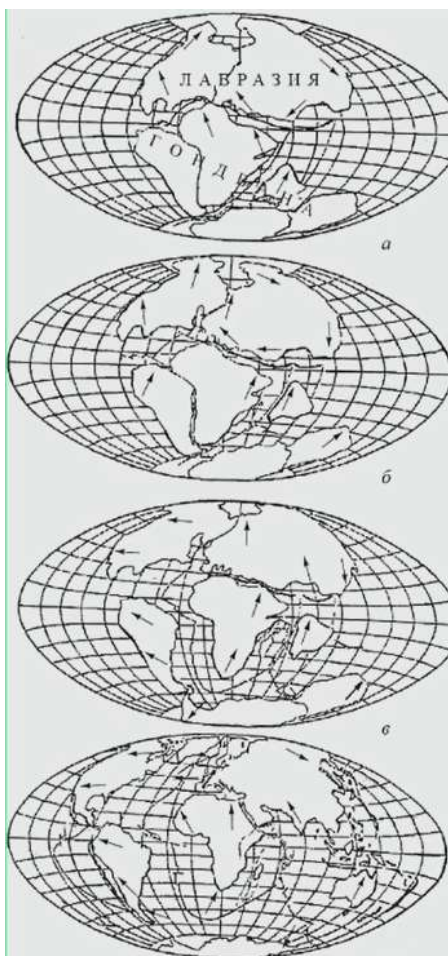


Рис. 9.2. Распад Пангеи

Плитно-тектоническая научная революция 60-70х годов XX века

В первой трети XX сложилось два направления тектонических построений- *фиксизм*, учение о неизменном, фиксированном, положении, континентов, допускающим только их вертикальное перемещение и *мобилизм*, утверждающий возможность не только вертикального, но и горизонтального перемещения континентов.

8.2. Возрождение идей мобилизма и новые достижения наук о Земле

Исследования дна океана в середине XX в. привели к открытию *системы срединно-океанических хребтов (СОХ)*. Это позволило американскому ученому Г.Х. Хессу предложить концепцию расширения океанов, которое другой американский исследователь, Р.С. Дитц, впервые назвал *спредингом* (от англ. spreading - распространение) ложа океанов.

В центральной рифтовой зоне СОХ горячая мантийная масса за счет конвективных течений поднимается вверх и, расталкивая части хребта, наращивает океаническую кору.

Однако, земная кора не может разрастаться без компенсирующего сокращения, т.к. размеры Земли в целом остаются неизменными. Кроме того, не было обнаружено океанической коры древнее 180 млн. лет. Следовательно, должны существовать области поглощения океанической коры. Такие области, названные зонами *субдукции* (от лат. sub - под и ductio - ведение, проведение), были установлены вдоль глубоководных океанических желобов, по краям Тихого океана и на востоке Индийского океана.

Были проведены очень серьезные исследования морей и океанов, в чем огромную роль сыграли ученые Советского Союза – было проведено несколько экспедиций (Северный Полус – 1, 1937). В результате этих экспедиций были открыты срединно-океанические хребты. Для этого был измерен рельеф морского дна. Для этого был применен *метод эхолотирования* (рис. 9.3).



Рис. 9.3. Применение эхолота

С исследовательского судна посылался звуковой сигнал, приемник на судне регистрировал отклик от морского дна. Зная скорость звука в морской воде и время, за которое вернулся отклик, можно рассчитать, какое расстояние прошел сигнал. До появления таких приборов точные измерения глубин были невозможны, поскольку раньше глубина мерилась с помощью веревки.

Было установлено, что эти хребты представляют собой глобальную систему планетарного масштаба (рис. 9.4). Длина всех хребтов составляет свыше 60 тыс. км (длина экватора составляет 40 тыс. км), ширина до 4 тыс. км, высота 2-4 км.

В центре срединно-океанических хребтов располагается *рифт* (щель), из которой происходит извержение лавы базальтового состава.

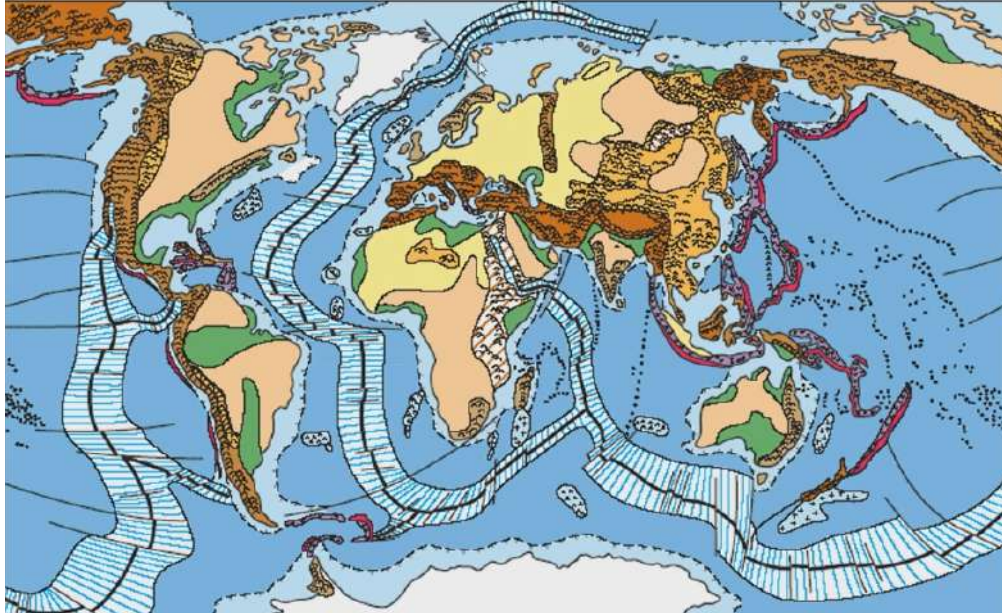


Рис. 9.4. Глобальная система СОХ

Самым показательным является Срединно-Атлантический хребет, который когда-то рассек Пангею, после чего началось открытие Атлантического океана. Черной линией показаны рифтовые долины.

Кроме того, рельеф океана изучался *с помощью спутников* (Спутник Seasat, 1978 год). Измерение высот поверхности океана радиолокационным высотомером проводилось с точностью 50мм. Невозмущенная поверхность океана отражает рельеф океанского дна.

Также использовали *глубоководное бурение*. Всего пробурено более 1500 скважин.

Были созданы управляемые спускаемые аппараты, которые были способны опускаться даже в глубоководные желоба. Это позволило открыть множество форм рельефа и новые виды биоты.

Были открыты *черные и белые курильщики* – формы рельефа, испускающие горячую сульфидную взвесь черного и белого цвета (рис. 9.5). Это говорит об активной тектоно-магматической деятельности.

Черные курильщики встречаются чаще. Они расположены в гидротермальных выходах в районе рифтовых долин.

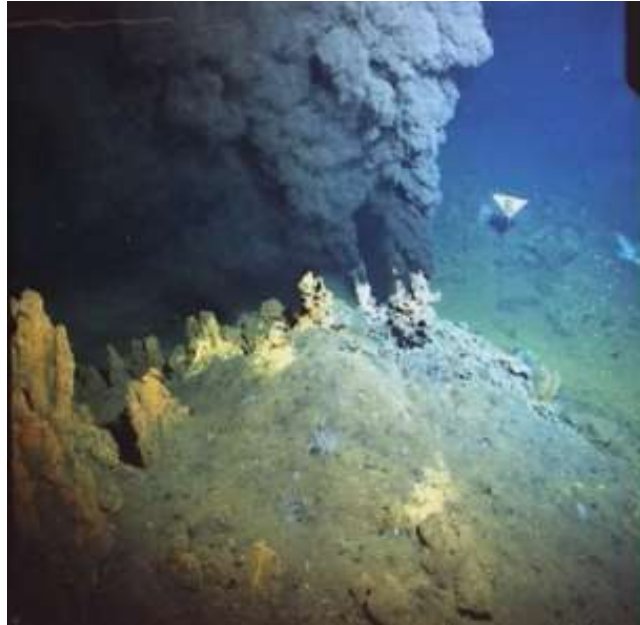


Рис. 9.5. Черные курильщики

Были получены компьютерные карты рельефа дна океанов, на которых можно наблюдать сложные системы горных сооружений (рис. 9.6).



Рис. 9.6. Компьютерная карта рельефа дна океанов

На карте хорошо видны *трансформные разломы* – разломы, возникающие перпендикулярно хребтам благодаря напряжениям, связанным с раздвигами.

Было установлено, что океаническая кора сильно отличается от континентальной (рис. 9.7).

На рисунке представлен схематический разрез океанической коры. Ниже слоя воды располагаются осадочные породы, затем – базальтовые породы и граница Мохо. Мощность океанической коры составляет 0-10 км.

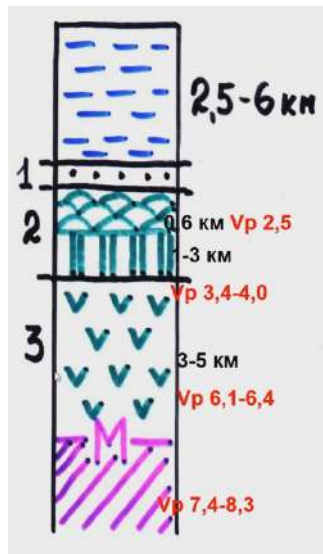


Рис. 9.7. Океаническая кора

Континентальная кора построена гораздо сложнее (рис. 9.8). Она состоит из осадочных пород, пород типа гранита и пород, близких к базальтам. Мощность континентальной коры может достигать 75 км.

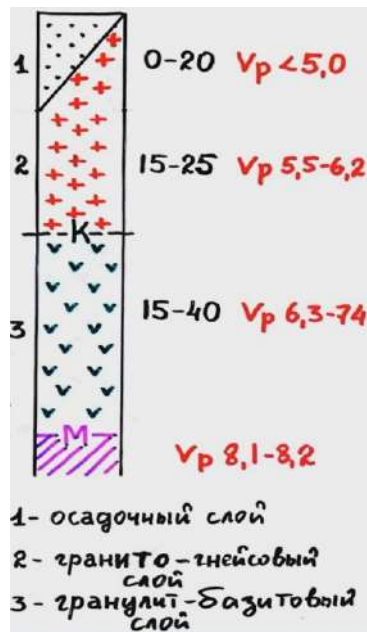


Рис. 9.8. Континентальная кора

Поскольку континентальная кора прошла более длительный путь развития, ей присущи гранитные породы (в отличие от океанической).

Возраст континентальной коры достигает 4 млрд. лет, возраст океанической – до 180 млн. лет. Было установлено, что по мере удаления от СОХ происходит увеличение

возраста пород (в млн. лет) по направлению от зоны спрединга в Срединно-Атлантическом хребте. По краям океана породы имеют возраст 180 млн. лет, при движении к рифтовой долине наблюдается омоложение базальтовых пород.

Представление о спрединге

По центру океанического хребта проходит рифтовая долина. Из астеносферы поднимается частично расплавленное вещество, магма изливается из рифтов. Поскольку она обладает напором, происходит раздвиг частей океанического дна. По обе стороны рифтовой зоны устанавливается симметричность в отношении возраста пород.

Открытие полосовых аномалий

Излившиеся базальты изучались с точки зрения возраста, химического состава и т.д. Было установлено, что в этих породах отмечается различная остаточная намагниченность (рис. 9.9).

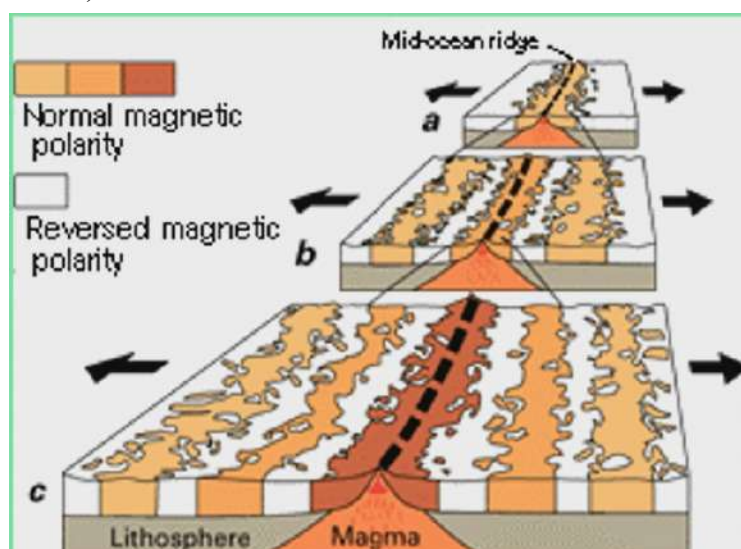


Рис. 9.9. Полосовые аномалии

Изливающаяся и кристаллизующаяся лава включает *минералы-ферромагнетики* – минералы, которые реагируют на существующее магнитное поле. Кристаллы, как магнитная стрелка, выстраиваются по тому полю, которое существует. Затем породы застывают, магнитное поле остается «записанным».

Было установлено, что от рифтовых долин симметрично изменяется не только возраст пород, но и *намагниченность*. Намагниченность изменяется с прямой на обратную.

Прямая намагниченность – та, что существует в настоящий момент, *обратная намагниченность* возникает в следствие смены магнитных полюсов местами. Излившиеся базальты меняют свою намагниченность с прямой на обратную и наоборот. Этот феномен был назван *полосовыми аномалиями*.

Магнитные полюса Земли (северный и южный) менялись местами – *инверсия магнитного поля*. Это происходило много раз и зафиксировалось в породах. Полосовые аномалии подтверждают спрединг.

Геофизические исследования

С помощью геофизических исследований возможно расшифровать строение разреза пород океанического дна. Посредством геофизики были установлены зоны концентрации глубинных очагов землетрясений. Проявление активной сейсмичности связано с тем, что часть океанической коры исчезает – она фиксируется очагами землетрясений.

Геофизическими наблюдениями было установлено существование погружающейся коры – *слэба*. Слэб может погружаться до глубины 700 км – практически граница верхней и нижней мантии.

Соединив эндогенную энергию землетрясений и вулканов, можно отметить, что их расположение практически совпадает. Линии их расположения выделяют определенные площади, что и легло в основу определения литосферных плит. Стоит отметить, что внутри плит проявлений вулканизма и очагов землетрясений гораздо меньше.

9.3. Основные положения тектоники литосферных плит

1. В составе верхней части Земли выделяются две разные по своим физическим свойствам оболочки: *литосфера* – относительно жесткая и хрупкая, и *астеносфера* – пластичная и подвижная.

2. Литосфера разделена на *литосферные плиты* (рис. 9.10, 9.11), границы которых маркируются глубинными разломами, очагами землетрясений и вулканизма. Выделяется 7 крупных, 7 средних и несколько десятков мелких плит. Более 90% поверхности Земли покрыто 14-ю плитами: Антарктическая, Евразийская, Северо-Американская, Тихоокеанская, Южно-Американская, Австралийская, Африканская, плита Наска, Индостанская, Аравийский субконтинент, Филиппинская, плита Кокос, плита Скотия, Карибская.



Рис. 9.10. Литосферная плита

Плиты ограничены швами, на которых локализуется основная тектоническая, в том числе сейсмическая, и магматическая активность.

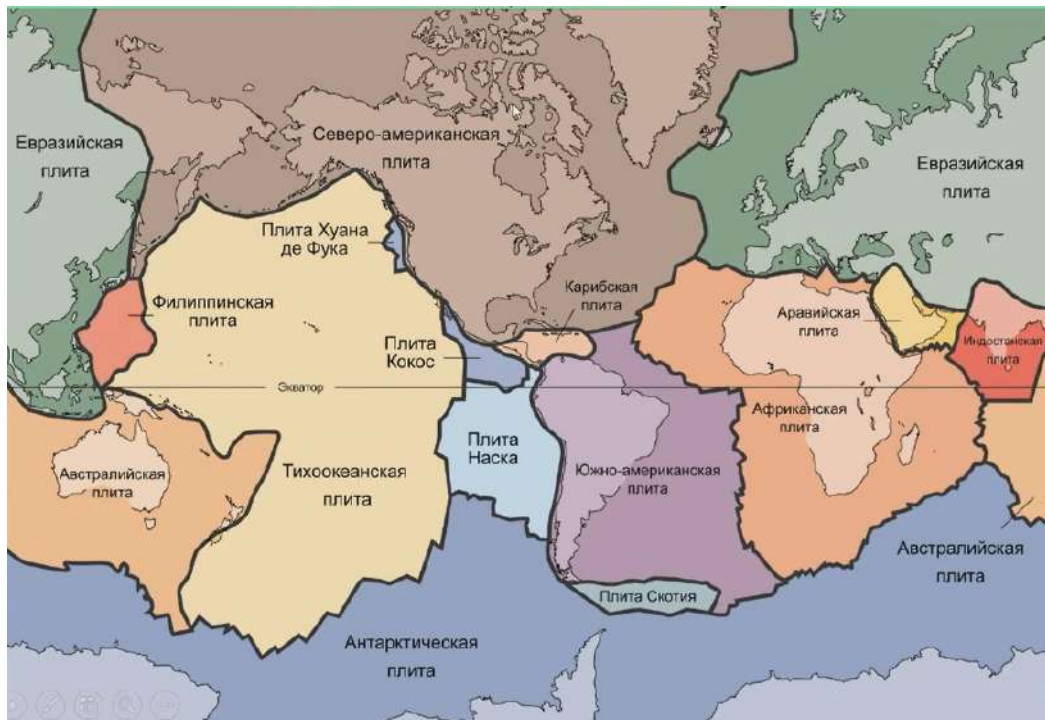


Рис. 9.11. Литосферные плиты

3. Толщина литосферных плит меняется от 150-300 км под континентами и от первых км до 90 км под океанами. В строении плит устанавливается кора обоих типов, только несколько плит сложены только океанической корой, например, Тихоокеанская, Наска и Скотия.

4. Литосферные плиты находятся *в постоянном движении*, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Внутренние части плит тектонически стабильны, практически лишены сейсмичности и магматизма, границы плит характеризуются высокой тектонической, сейсмической и магматической активностью.

5. Границы между плитами бывают трех типов (рис. 9.12):

- дивергентные (от лат. *divergere* - расхождение),
- конвергентные (от лат. *convergere*- приближаться)
- трансформные

В среднем скорость движения литосферных плит составляет 5см/год. В зоне субдукции скорости могут достигать до 12 см/год, в зоне спрединга – до 18 см/год.

5.1. На *дивергентных границах* происходит расхождение плит, или *спрединг* (от англ. *spreading* - распространение) например, раскрытие Атлантического океана (рис. 9.13).

5.2. На *конвергентных границах* (рис. 9.14) происходит их сближение и взаимодействие: *субдукция* (от лат. *sub* - под и *ductio* - ведение) - погружение одной плиты, как правило, океанической, под другую, как правило, континентальную (рис. 9.15), например, Тихоокеанской плиты под Евразийскую и Северо-Американскую плиты; или *коллизия* (от англ. *collision* - столкновение) - взаимодействие двух

континентальных плит приводящее к *орогенезу* (горообразованию), например, возникновение Гималаев (рис. 9.16). Иногда возникает *обдукция* (от лат. *ob* - над и *ductio* - ведение) - надвигание океанической литосферы на континентальную, например, на востоке Аравийского полуострова.

5.3. На *трансформных границах* (от лат. *transform* - преобразовывать) происходит горизонтальное скольжение одной плиты относительно другой вдоль глубинных трансформных разломов, без наращивания или сокращения земной коры (рис. 9.17).

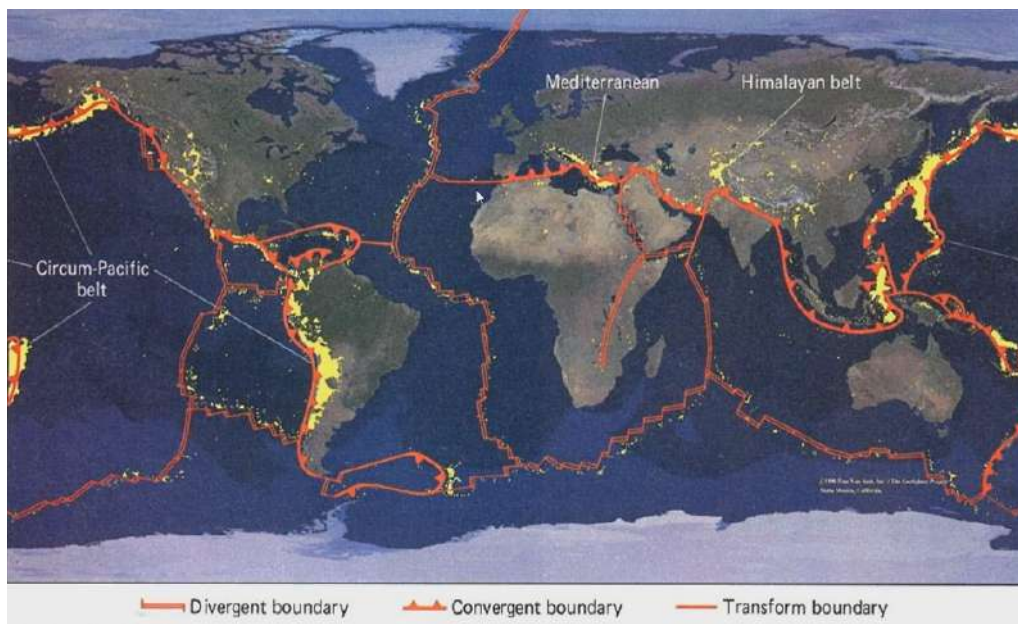


Рис. 9.12. Типы границ

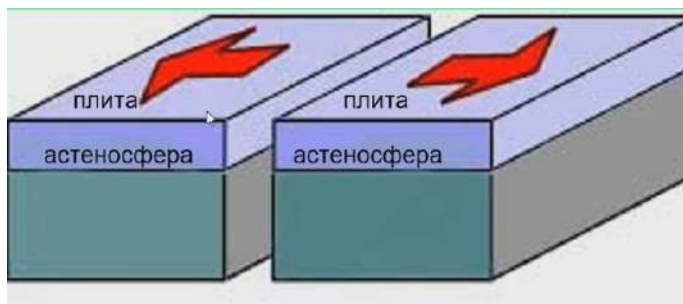


Рис. 9.13. Дивергентная граница



Рис. 9.14. Конвергентная граница



Рис. 9.15. Субдукция

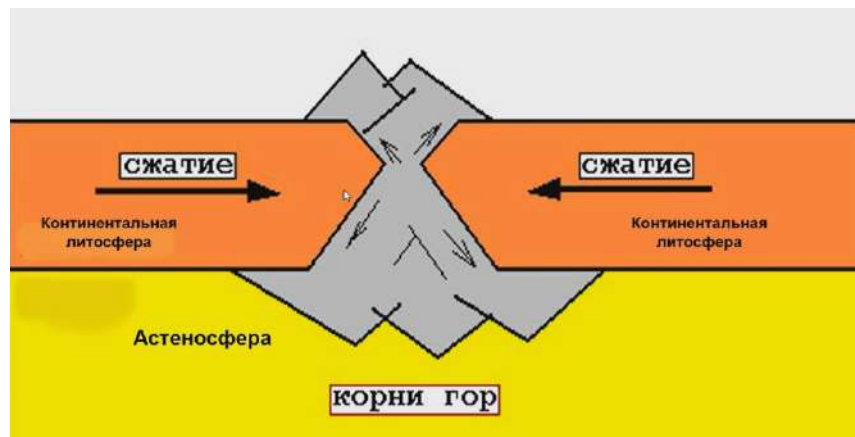


Рис. 9.16. Коллизия

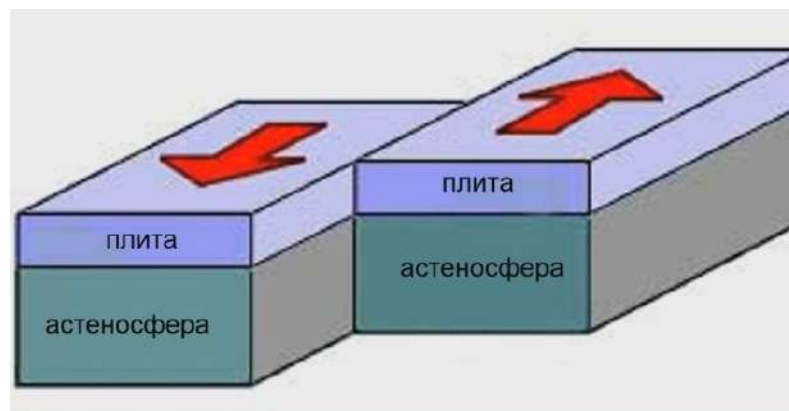


Рис. 9.17. Трансформные границы

Существуют и континентальные рифты – в Красном море, система Восточно-Африканских рифтов, озеро Байкал и т.д.

В Исландии срединно-океанический хребет выходит на поверхность океана (рис. 9.18).



Рис. 9.18. Мост через рифтовую долину

6. Одной из наиболее вероятных причин движения литосферных плит является *конвективное перемещение вещества в мантии*.

В недрах Земли в результате эндогенных процессов тепло- и массопередачи (*конвекции*), а также в результате вращения Земли, возникают определенные ячейки циркуляции мантийного вещества, которые увлекают за собой жесткие литосферные плиты.

Конфигурация этих ячеек меняется во времени, в результате чего процесс скупивания, сборки, континентов в один суперконтинент, сменяются процессом его распада.

В истории Земли насчитывается минимум пять сборок и распадов континентов. Это происходит по следующей причине.

Если направление движения конвективных ячеек происходит в разные стороны, происходит расхождение плит – спрединг. Если конвекция в ячейках направлена навстречу друг другу, ее потоки затягивают части литосферы (рис. 9.19).

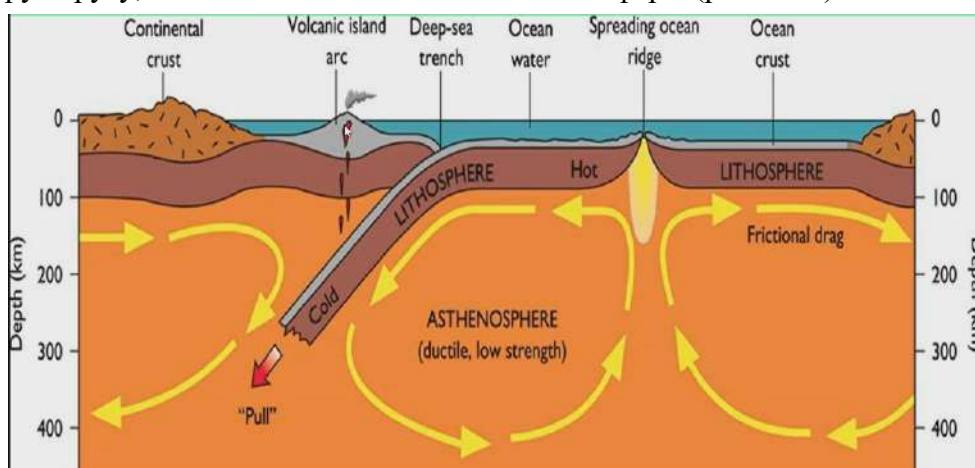


Рис. 9.19. Общая схема тектоники литосферных плит

7. В тектонической истории Земли насчитывается не менее 4-х суперконтинентов, последний из них называется Пангея-3 (или Пангея Вегенера).

Процесс образования и распада суперконтинентов носит периодический характер и происходит на протяжении протерозойско-фанерозойской истории Земли каждые 550 - 600 млн. лет, так называемый цикла Вильсона.

Будущему гипотетическому суперконтиненту, в который гипотетически через 200-300 млн. лет сольются существующие сейчас материки дано имя Пангея Ультима (от лат. ultima - последняя), или Амазия (Америка+Азия) (рис. 9.20, 9.21).

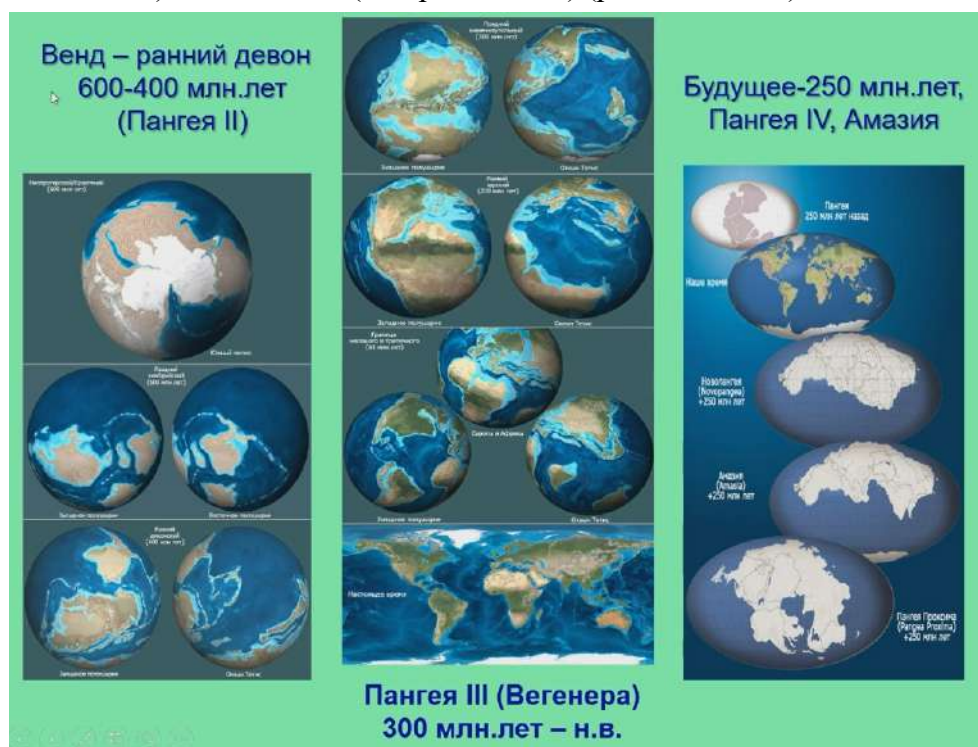


Рис. 9.20. Суперконтиненты в прошлом, настоящем, будущем



Рис. 9.21. Будущий гипотетический континент Пангея Ультима (Амазия)



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ