

ЛИТОСФЕРА

Литосфера (от греч. *Litho* - камень + *Sphaira* – шар) – внешняя твердая сфера Земли, включающая земную кору и наружную часть подстилающей ее верхней мантии.

Литосфера подстилает атмосферу и в значительной мере перекрывается гидросферой, которая в той или иной форме проникает в ее различные горизонты, нередко образуя там значительные скопления подземных вод.

Литосфера – вся суша (поверхность и глубокие слои),
не покрытая водой

В границы Биосферы входит часть литосферы, ее верхняя оболочка - Биолитосфера, химический состав и свойства которой отличаются от более глубоких слоев.

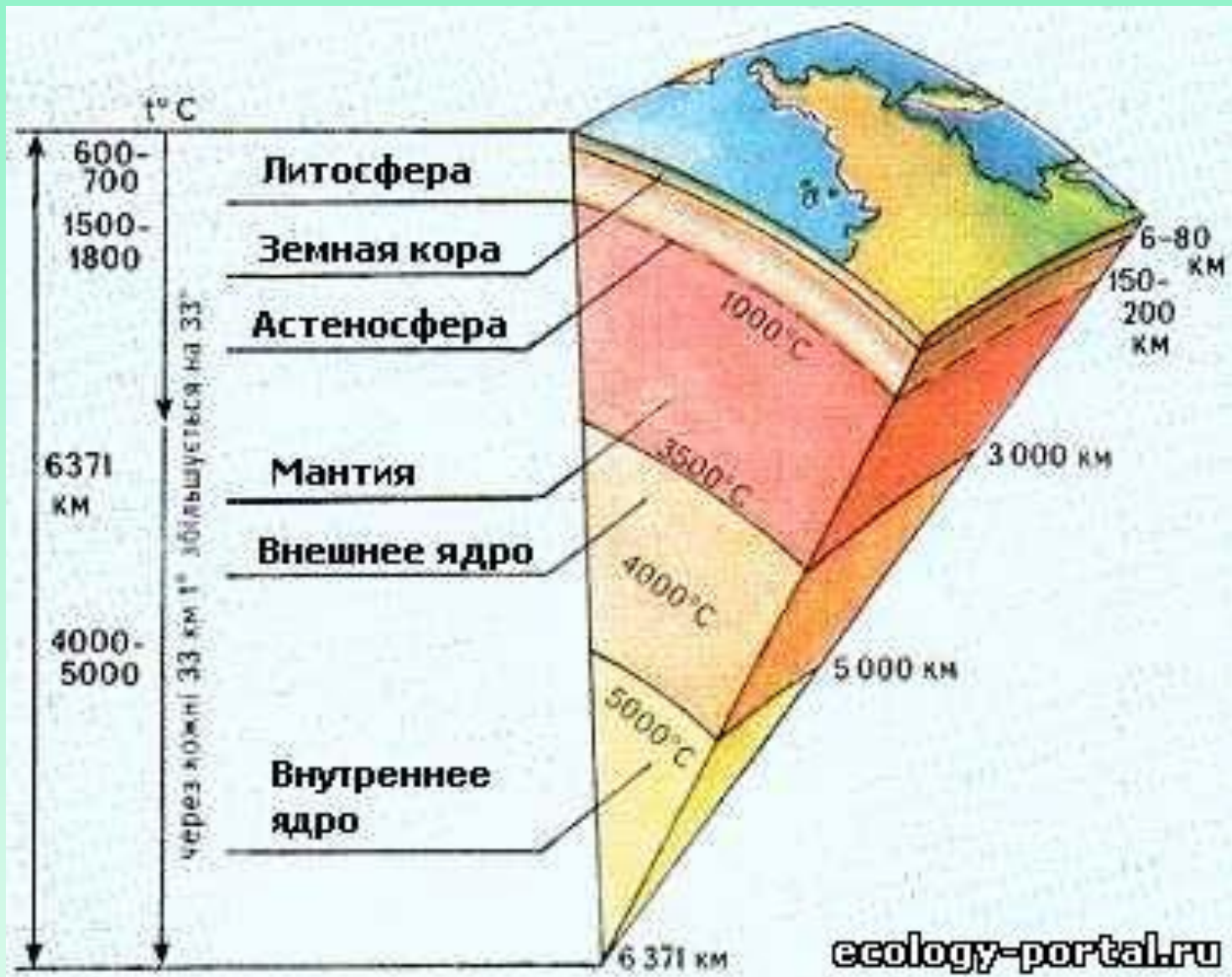
Биолитосфера – верхний слой литосферы толщиной 2–3 км, где есть жизнь. Эта часть литосферы находится во взаимодействии с атмосферой и гидросферой.

Кроме того, здесь проявляется "всюдность" и длительное действие химической работы живого вещества (В.И. Вернадский).

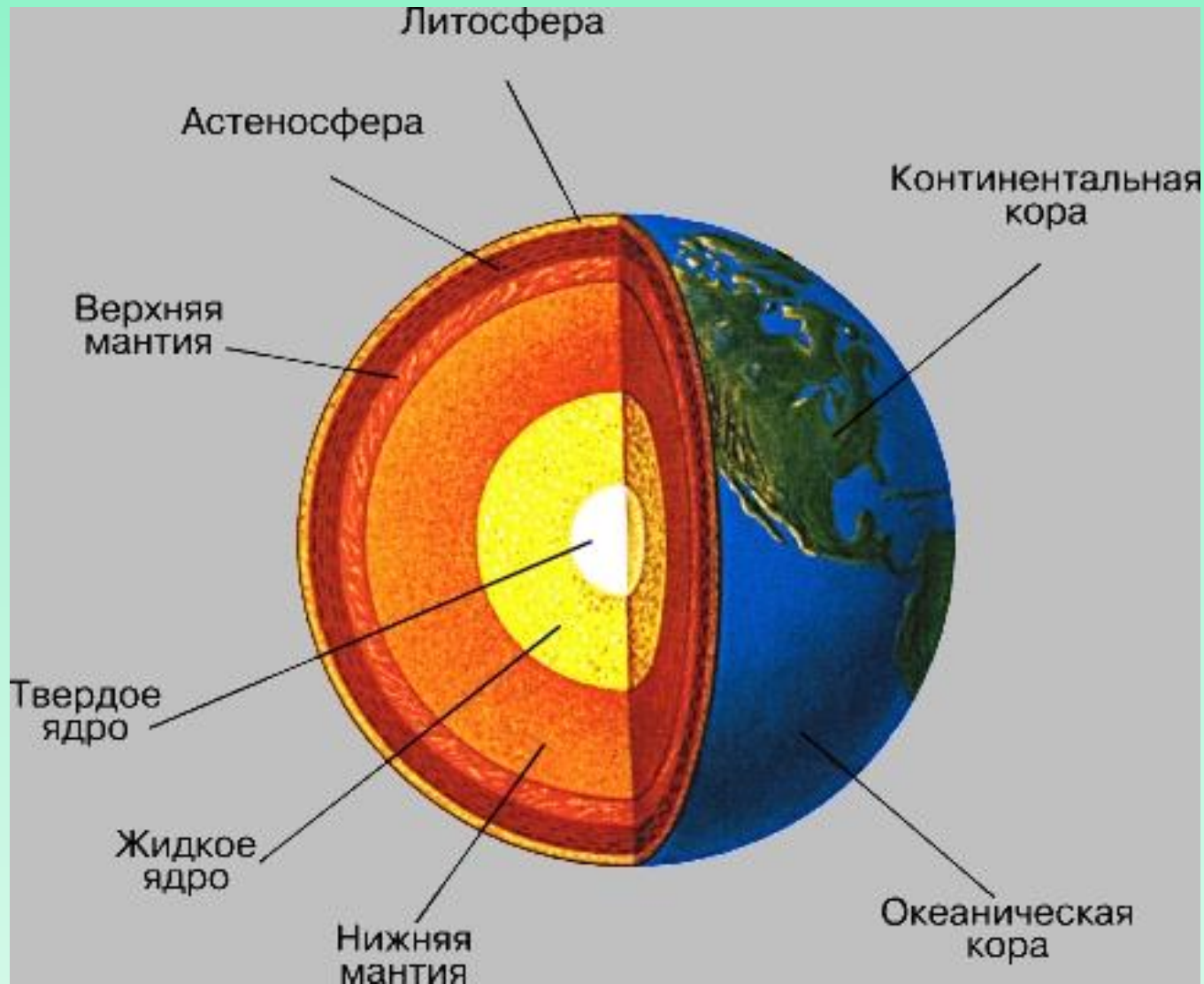
Литосфера Земли



Оболочки Земли



Оболочки Земли



Кларк - среднее значение концентрации химического элемента в земной коре. Термин введен А.Е. Ферсманом в честь американского геохимика Франка У. Кларка, который рассчитал средний состав земной коры.

Согласно Кларку **состав земной коры близок к граниту** - распространённой магматической горной породе в континентальной земной коре Земли.

В. Гольдшмидт предположил, что ледник, двигаясь по континентальной коре собирает и смешивает выходящие на поверхность горные породы. Поэтому ледниковые отложения (морены) отражают средний состав земной коры.

На основании данных по составу ленточных глин, отложившихся на дне Балтийского моря за время последнего оледенения, В. Гольдшмидт получил результаты, который соответствовали данным о составе земной коры, вычисленным Кларком.

В составе земной коры присутствуют практически все элементы ПС, но основную её часть составляют **кислород и кремний**.

Строение литосферы

Земная кора – внешняя твердая оболочка Земли

Объем $10,2 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$, масса – $28 \cdot 10^{21} \text{ кг}$,

мощность:

под океанами 5–10 км,

на материках под равнинами - 35–45 км,

в горных областях – около 70 км.

Материковая зона земной коры:

*Верхний слой – осадочный (представлен осадочными породами),
глубина до 20 км, объем $1 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$, масса $2,5 \cdot 10^{21} \text{ кг}$.*

*Средний слой – гранитный (магматические породы кислого состава),
глубина до 40 км, объем $3,6 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$, масса $10 \cdot 10^{21} \text{ кг}$.*

*Нижний слой – базальтовый (магматические интрузивные горные
породы основного состава),*

глубина до 60 км, объем $5,6 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$, масса $16 \cdot 10^{21} \text{ кг}$.

*Океаническая зона земной коры - только базальтовый слой и
сильно редуцированный слой осадка*

Литосферная плита

крупный стабильный участок земной коры, часть литосферы, ограниченный зонами сейсмической, тектонической и вулканической активности -
- границами плиты



На Земле есть семь (восемь) основных тектонических плит (в зависимости от того, как они определены) и много мелких плит. Твердые литосферные плиты перемещаются по пластичной астеносфере. Землетрясения, извержения вулканов, образование гор и формирование океанических траншей происходят вдоль границ этих плит. Боковое относительное движение плит обычно варьируется от 0-100 мм в год

Литосферные плиты постоянно меняют свои очертания, они могут раскалываться и спаиваться, образуя единую. Литосферные плиты также могут тонуть в мантии планеты, достигая глубины внешнего ядра. Очертания плит меняются со временем, особенно это касается малых плит.

Распространенность химических элементов в природе

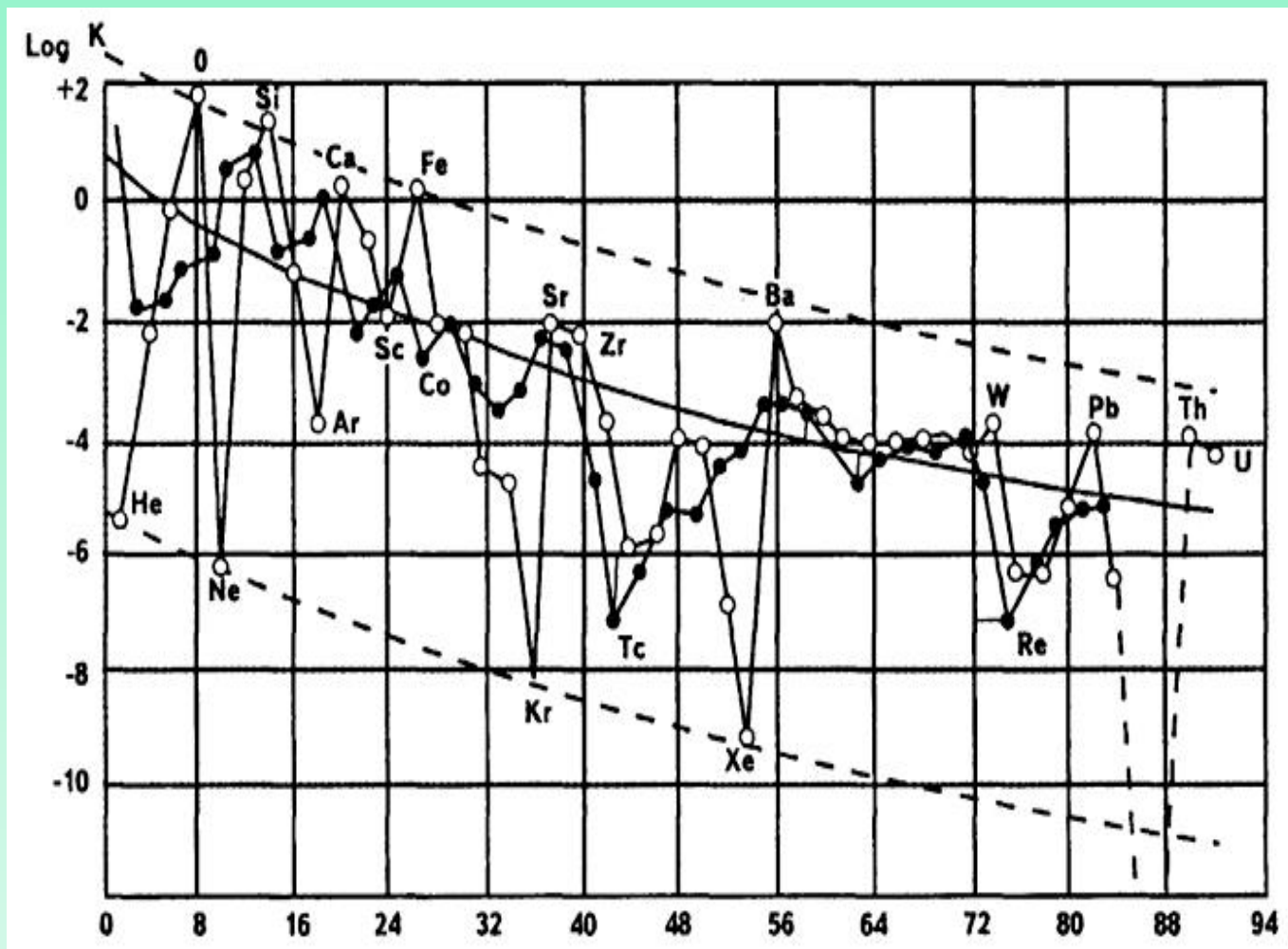
Основные идеи:

1. Все доступное для исследования вещество состоит из одних и тех же химических элементов; их количественные соотношения (распространенность), в пределах порядка величины, практически одинаковы (В.И. Вернадский, 1926).
2. Распространенность химических элементов в природе подчиняется следующим основным эмпирическим правилам:
 - распространенность уменьшается с ростом заряда ядра;
 - зависимость распространенности элементов от заряда ядра имеет две ветви - крутую для легких элементов (до Cu, Zn) и значительно более пологую для более тяжелых;
 - четные химические элементы распространены больше, чем их нечетные соседи - правило Оддо-Гаркинса, исключения: H, He, а также Li, Be, B;
 - на кривой распространенности элементов группы Fe (Cr, Mn, Fe, Co, Ni) наблюдаются отчетливые максимумы, менее выраженные для других групп;
 - наблюдается резко пониженная распространенность Li, Be, B.
3. Космическая распространенность химических элементов определяется стабильностью ядер атомов (Вернадский, 1921, Goldschmidt, 1930).

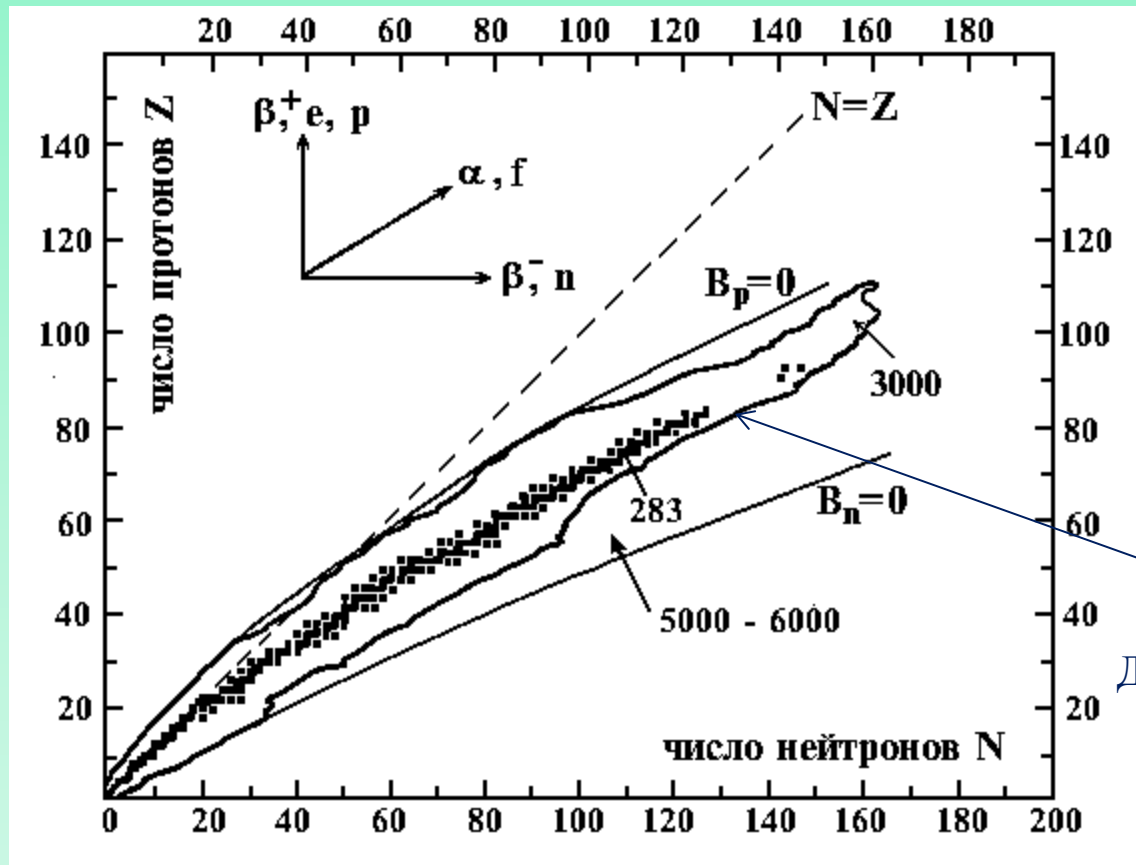
Распространенность химических элементов в природе

4. Химические элементы образуются в ходе ядерных процессов (процессов нуклео-синтеза), протекающих на разных стадиях эволюции Вселенной.
5. Солнце как звезда второго поколения, принадлежащая к Главной последовательности, может служить хорошим представителем основной массы видимого вещества Вселенной.
6. Вещество звезд второго и более поздних поколений, рассеянной материи (газо-пылевых туманностей), планетных систем является, с точки зрения происхождения химических элементов, гетерогенным, представляя собой смесь продуктов ядерных реакций, протекавших на разных стадиях предшествующей истории; последний этап нуклео-синтеза в районе Солнечной системы произошел за 200 - 400 млн. лет до формирования твердой фракции ее вещества (4.55 млрд. лет назад).
7. Процессы смешения продуктов нуклео-синтеза оказываются в высшей степени эффективными и приводят к тому, что в главной своей массе протопланетное вещество Солнечной системы достаточно хорошо перемешано и характеризуется весьма однородным изотопным составом; но при этом некоторая (очень небольшая по массе) фракция метеоритного вещества отличается изотопными аномалиями, прямыми свидетелями гетерогенности нуклеосинтеза.

Логарифмы атомных кларков (А.Е. Ферсман, 1952-1960)



N-Z диаграмма атомных ядер



Для ядер долины стабильности характерно соотношение чисел нейтронов и протонов:

$$N/Z = 0.98 + 0.015A^{2/3}, \text{ где } A = N + Z - \text{массовое число.}$$

Состав компонентов Солнечной системы, вес. % (в скобках – атомный номер)

Солнце	Метеориты	Земля в целом	Земная кора	Атомные кларки	Число минералов
H(1) 42	O(8) 35	O(8) 33	O(8) 47.2	58.0	1221
He(2) 36	Fe(26) 25	Fe(26) 29	Si(14) 27.6	20.0	500
O(8) 1	Si(14) 18	Si(14) 17	Al(13) 8.86	6.6	350
C(6) 0.3	Mg(12) 14	Mg(12) 13	Fe(26) 5.10	2.0	350
N(7) 0.08	S(16) 2	S(16) 2	Ca(20) 3.6	2.0	
Si(14) 0.07	Ni(28) 1.4	Ni(28) 2	K(19) 2.6	1.4	43
Mg(12) 0.03	Ca(20) 1.4	Ca(20) 1.6	Na(11) 2.6	2.4	100
S(16) 0.03	Al(13) 1.3	Al(13) 1.4	Mg(12) 2.1	2.0	43

Состав компонентов Солнечной системы

- метеориты в Солнечной системе, Земля в целом и земная кора близки по составу;
- состав Солнца (как результат ядерных реакций) существенно отличается от такового для Земли, земной коры и метеоритов;
- земная кора в сравнении с Землей в целом обогащена легкими элементами Si, Al ("**СиА**листическая оболочка"). *Причина – более ранняя кристаллизация из расплава "корки" из соединений этих элементов с кислородом (дифференциация в ходе остывания поверхности планеты).*

Главные геохимические особенности литосферы Земли:

- высокий кларк кислорода (объемный кларк 91.8 !);
- формирование уникальной твердой кремнекислородной оболочки.

Эти элементы образуют и основное количество минералов, различие физических и химических свойств которых определяет разнообразие слагающих литосферу пород в определенных p , T , X - условиях.

Геохимическая классификация элементов Гольдшмидта (1911г.)

Вертикальная неоднородность распределения элементов в зависимости от атомных объемов:

- **сидерофильные элементы** (обладают сродством к железу), тяготеют к центру планеты), имеют минимальный объем - Fe, Ni, Co... всего 14 ;
- **атмофильные**, имеют максимальный объем - H, N, благородные газы, всего 8;
- **халькофильные** (элементы сульфидных руд), концентрируются ближе к ядру Земли над сидерофильными, - Si, Al, Cu, Zn, Ag, Hg... всего 20;
- **литофильные** (силикаты и оксиды), концентрирующиеся в верхних слоях;

Эти условия меняются при переходе от глубинных слоев Земли к поверхности.

Закономерности распределения элементов в литосфере

первый уровень ее организации

Формы нахождения элементов (В.И. Вернадский):

1. Горные породы и минералы;

Закономерности образования минералов изучает геохимия; важную роль играют свойства кристаллической решетки, энергия ее образования, размеры атомов.

2. Магмы (природный, чаще всего силикатный, раскаленный, жидкий расплав, возникающий в земной коре или в верхней мантии);

3. Рассеянные элементы;

4. Живое вещество.

Ферсман: миграция атомов в геологических процессах связана с **энергетическим коэффициентом (ЭК)** - "паем" энергии, который вносит каждый ион в гетерополярном соединении при его образовании:

$$U = 256,1(aЭК_1 + bЭК_2 + \dots + mЭК_n);$$

соединения с большим ЭК кристаллизуются раньше, с малым - остаются в расплаве.

Для анионов и одновалентных катионов: $ЭК = z^2/2r$,

Для многовалентных катионов: $ЭК = 0,75 (r+0,20) z^2/2r$.

Расчет: выбираем в качестве опорного простое соединение КF с известной величиной U :

$U = 190,4$ ккал/моль = $256,1 \cdot 2ЭК$, т.к. заряды и радиусы К и F одинаковы.

Получим $ЭК_K = ЭК_F = 0,37$. Отсюда можно оценить величины ЭК для других ионов, подбирая соответствующие соединения с известными U .

Факторы миграции

миграция атомов в геологических процессах обусловлена не только способностью образовывать минералы.

- **внутренние** - свойства связи атомов в решетке, химические свойства соединения, свойства кристаллической решетки (в т.ч. полиморфизм), гравитационные свойства, радиоактивность;
- **внешние** - концентрация, температура, давление, степень ионизации расплава и раствора, окислительно-восстановительный потенциал среды, рН, поверхностные силы.

В реальных условиях сочетание этих факторов определяет образование ассоциаций минералов в литосфере.

Общее число минералов (~ 2000) сравнительно невелико (в сравнении с количеством видов живых организмов (~ 2 000 000 видов!), т.к. оно образовано ограниченным числом элементов.

Большинство других элементов не способно к образованию самостоятельных минералов и находятся в **рассеянном** состоянии:

- в структуре минерала-носителя по законам изоморфизма и в неупорядоченном состоянии;
- в формах, сорбированных поверхностью или в микро-минералогических ассоциатах.

Все это определяет неравномерное распределение рассеянных элементов в литосфере.

Дальнейшая дифференциация элементов в верхнем слое литосферы

- образование осадочных пород при изменении состава атмосферы и гидросферы;
- захоронение неразложившихся отмерших организмов.

Эти процессы происходили на поздних этапах эволюции Биосферы (400 – 1000 млн. лет до н.э.), под влиянием изменения химического состава атмосферы и гидросферы, развития системы живых организмов и распространения их на суше:

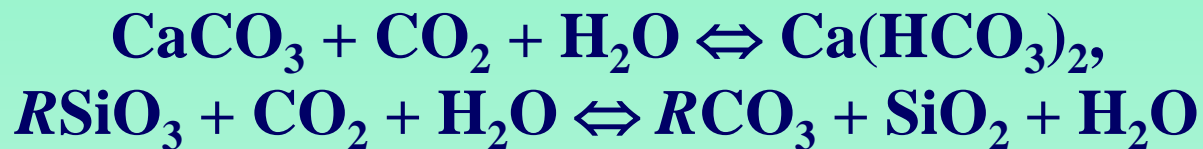
- смена восстановительной обстановки на окислительную;
- смена кислой реакции гидросферы на нейтральную и слабощелочную



1. Формирование осадочных пород (в т.ч. карбонатов), отличных по составу от коренных, изверженных пород.
2. Дальнейшая их трансформация при изменении внешних условий.

Процесс углекислотного химического выветривания

геохимически значимый процесс



Химическое выветривание - образование растворимых продуктов при взаимодействии твердой породы, атмосферного воздуха и воды.

- миграция растворенных форм с водными потоками (*в т. ч. в подземных водах*)
- локальное изменение миграции на геохимических барьерах (*испарительном, сорбционном, кислородном, сульфидном, щелочном, окислительно-восстановительном...*), возникающих при локальном резком изменении геохимической обстановки.

Активизации процессов изменения состава пород на таких барьерах часто способствуют живые организмы (*например, тионовые бактерии ускоряют окисление нерастворимых сульфидов до растворимых сульфатов*).

Роль биотической составляющей в формировании состава литосферы

1. Изменение общего состава атмосферы и гидросферы благодаря образованию захоронений отмершей неокисленной органики;
2. Увеличение газо- и водопроницаемости за счет наиболее активной части литосферы – почвы:
 - в силу дисперсности (*площадь поверхности частиц почвы достигает $20 \text{ км}^2/\text{м}^3$*)
 - за счет наличия химически активных функциональных групп гуминовых и фульвокислот.

Ежегодно образуется 120 млрд.т опада листвы и отмирает 12-15 млрд.т корней растений, перерабатываемых деструкторами с образованием гумусовых веществ. Повышенная кислотность и восстановительная среда, наряду с комплексообразующим действием органических кислот, способствуют изменению миграции многих металлов.

В почвах реализуется существенная часть эволюционно сложившихся биогеохимических циклов элементов в Биосфере, определяющих возможность длительного совершения химической работы в практически закрытой термодинамической системе.

Частью этих циклов является биотический оборот элементов, имеющий особую роль в функционировании наземных экосистем.

Ресурсы Биолитосферы:

Неживая природа – почвы, льды, снега, пески, глины, камни, скалы, руды;

Живая природа – леса, луга, нивы, человек, фауна, флора, микроорганизмы;

Антропогенные объекты – поселения, дороги, бытовые, промышленные и сельскохозяйственные предприятия и зоны, места разработки месторождений.

Общая площадь суши 13,8 млрд га:

леса - 3,9 млрд га (28%),

луга - 2,3 (17%);

пашни - 1,4 (10%);

ледники и мало пригодные земли - 6,2 млрд га (45%).

В России из 1,71 млрд га:

леса и кустарники - 0,78 млрд га (45,5%);

сельскохозяйственные угодья, пастбища и болота - 0,66 (38,5%);

земли населенных пунктов, предприятий - 0,013 (0,8%);

земли запаса и охраняемые земли - 0,18 млрд га (10,5%).

Полезные ископаемые

природные минеральные вещества, которые могут использоваться человеком для хозяйственных нужд

Классификация

1. Рудные ископаемые: *бокситы, хромиты, железная, медная, никелевая и другие руды;*
2. Строительные материалы и нерудные ископаемые: *песок, глины, щебень, известняк, гранит, мрамор, горный хрусталь, яшма, корунд, алмазы и т.д.;*
3. Горно-химическое сырье: *апатиты, фосфориты, поваренная соль, сера, барит и т.п.;*
4. Топливные ископаемые: *нефть, уголь, сланцы, торф, руды урана;*
5. Гидроминеральные ресурсы: *ресурсы морской воды, подземные пресные и минерализованные воды.*

Запасы невозобновляемого ископаемого топлива, доступного для добычи, (по приближенным подсчетам), составляют **700012500** млрд т условного топлива. Из них (млрд т): каменного угля **5000-11000**; жидких углеводородов - **800-1200**; природного газа **600-800**.

Воздействие человека на химические процессы в литосфере

- разработка месторождений;
- изменение ландшафта;
- изменение водных потоков;
- распашка земель и т.д.

Добыча угля, руд металлов в шахтах - активизация деятельности тионовых бактерий, окисляющих сульфидную серу в сульфат - увеличение кислотности вод и возрастание концентрации растворенных металлов.

Откачка шахтных вод на поверхность - резкое изменение условий функционирования местных экосистем.

Организация золоотвалов на ТЭЦ, различных хвостохранилищ в горнодобывающих и перерабатывающих отраслях

- изменение границ естественных экосистем;
- появление новых форм твердого вещества, нарушению процессов вещественного обмена с грунтовыми водами.

Последствия влияния техногенеза на состояние литосферы

- изменения на уровне отдельных экосистем
- изменение геохимических циклов элементов

В глобальном масштабе такие последствия могут проявиться как изменение геохимических циклов элементов, в первую очередь с низкими кларковыми содержаниями, находящихся в литосфере, перераспределением их в Биосфере.

В настоящее время техногенные потоки ряда элементов, извлеченных из литосферы, достигли или даже превосходят естественные потоки.

Загрязнение биолитосферы

Загрязнение газами, аэрозолями, пылевидными, жидкими и твердыми веществами: выхлопными газами автомашин (оксиды азота, соединения свинца, углеводороды, саж), которые, оседая на придорожных растениях и почве, вовлекаются в природные круговороты, связанные с пищевыми цепями.

Кислотные дожди наносят большой урон лесам: выпадение радионуклидов на обширной территории после аварии на Чернобыльской АЭС – страшный пример загрязнения биосферы человеком.

Твердые отходы - основной вклад в загрязнение литосферы: так, в мире ежегодно добывается свыше 100 млрд т полезных ископаемых, из которых около 99% идет в отходы.

Промышленные твердые отходы: отвалы (основная масса отходов), шлаки, шламы, зола горной, горно-химической, металлургической промышленности и ТЭЦ; металлическая стружка, бракованные изделия, металлолом металлообрабатывающих предприятий; фосфорогипс, огарок, шламы, отходы резины, пластмасс химической промышленности; радиоактивные отходы атомной промышленности и АЭС; отходы лесозаготовок, лесопиления, деревянных конструкций, мебели лесной и деревообрабатывающей промышленности; кости, шерсть, шелуха, мусор пищевой и легкой промышленности.

Сельскохозяйственные отходы: солома, труха, растительный мусор; навоз; остатки удобрений и пестицидов, обломки тары.

Бытовые: отходы пищи, очистки, мусор, стекло и т.п.

Особая проблема - загрязнение почвы пестицидами и токсикантами.

Пестициды (лат. *petis* – зараза, *cido* – убивать) – собирательное название ядохимикатов, применяемых в сельском хозяйстве.

Ежегодные потери урожая ~ 35%, в том числе от вредителей ~ 14% , от болезней ~ 11, сорняков ~ 10%.

Применение пестицидов позволяет снизить эти потери и повысить урожайность. Мировое производство пестицидов составляет более 2 млн т, в России около 150 тыс. т. Их ассортимент – более 1000 наименований, в России – около 100.

Негативные последствия использования пестицидов:

- приспособление вредителей к пестицидам;
- гибель полезных живых организмов.

Так, в России 6–9% обследованной площади почвы загрязнены пестицидами, преимущественно запрещенным теперь 4,4'- дихлордифенил-трихлорэтаном (ДДТ), а в Московской и Иркутской областях – до 50% площади.

Пестициды - органические вещества, содержащие хлор (гексахлоран, полихлоркамфен, алдрин, ГХЦГ- гексахлор-циклогексан), фосфор (хлорофос, метафос, карбофос, фозалон, фосамид и др.), ртуть (гранозан, меркуран, агронал, фализан и др.), мышьяк, цианиды.

Ряд пестицидов (ДДТ) долго сохраняется в природной среде без разрушения и трансформации. Металлы пестицидов (ртуть, свинец и др.) способны накапливаться в живых организмах.

Токсиканты – ядовитые вещества, попадающие в почву из выбросов, сбросов и отходов больших городов и крупных предприятий металлургии, нефтехимии, угледобычи, машиностроения.

Классы опасности:

класс I – 3,4-бензпирен, соединения мышьяка, ртути, свинца, селена и др.;

класс II – соединения хрома (VI), меди, сурьмы, молибдена, никеля и др.;

класс III – ацетофенон, соединения ванадия, марганца, стронция, вольфрама, фтора.

Из 85 обследованных городов России в 12 имеет место значительное загрязнение почвы токсикантами.

В трех городах – Белово (Кузбасс), Мончегорск (Кольский полуостров), Ревда (Урал) – загрязнение почвы в городе и в радиусе 5 км от него относится к чрезвычайно опасному.