



ГЕОХИМИЯ ЛИТОСФЕРЫ

Литосфера – твердая внешняя оболочка Земли.

На континентах и под океанами имеет различные мощности и состав:

- на материках от 30 до 70 км,
- на дне океанов – от 5 до 15 км,
- под горными хребтами имеет наибольшую мощность – до 75 км.

Химический состав Земной коры впервые установлен Ф.У. Кларком.

Достаточно точно установлены кларки распространенных типов пород;
земная кора — совокупность различных горных пород находящихся в различном соотношении, поэтому даются усредненные кларки земной коры.

Состав Земной коры:

- кларк O – 47%;
- на втором месте Si – 29,5%,
- на третьем – Al – 8,05%; Fe – 4,65%; Ca – 2,96%; Na – 2,5%; K – 2,5%; Mg – 1,87%; Ti – 0,45%; в сумме это составляет 99,48%;
- суммарное количество остальных 80 элементов не превышает 1%.

Химический состав горных пород определяется составом главных породообразующих минералов.

Второстепенные минералы горных пород незначительно влияют на их химический состав, хотя иногда определяют распределение некоторых микроэлементов.

Породообразующие минералы

подразделяются на:

- **светло- и темноцветные минералы – это соединения кремния, кислорода и нескольких металлических катионов, т.е. силикаты и кварц.**

Второстепенные минералы – это в основном **окислы железа (магнетит) и сложный окисел железа и титана – ильменит.**

Континентальная кора в отличие от океанической неоднородна по строению, ее тоже разделяют на три слоя:

- **верхний – осадочный,**
- **средний и нижний состоят из кристаллических пород.**

Нижний слой состоит из магматических пород среднего и основного состава.

Средний слой (гранитный), хотя он не является полным аналогом гранитов, - преобладают породы гранитогнейсового состава с подчиненным содержанием базальтов.

Верхний слой отсутствует на древних щитах, средняя мощность слоя на платформах составляет 2-3 км.

По составу преобладают глинистые, песчаные и карбонатные отложения. Их соотношение в осадочных породах составляет – 5:3:2. Иногда отмечается присутствие магматических пород различного состава.

В составе континентальной коры преобладают магматические породы, однако $\frac{3}{4}$ всей площади суши покрыто осадочными толщами.

Среди магматических пород выделяют:

- кислые,
- основные
- щелочные.

В интрузивных породах резко преобладают кислые, а в эффузивных – основные.

Выветривание, переотложение и преобразование магматических пород → формирование осадочных пород.

Магматические горные породы

В зависимости от температур изменяется их состав; с понижением температур идет формирование магматических пород по следующей схеме:

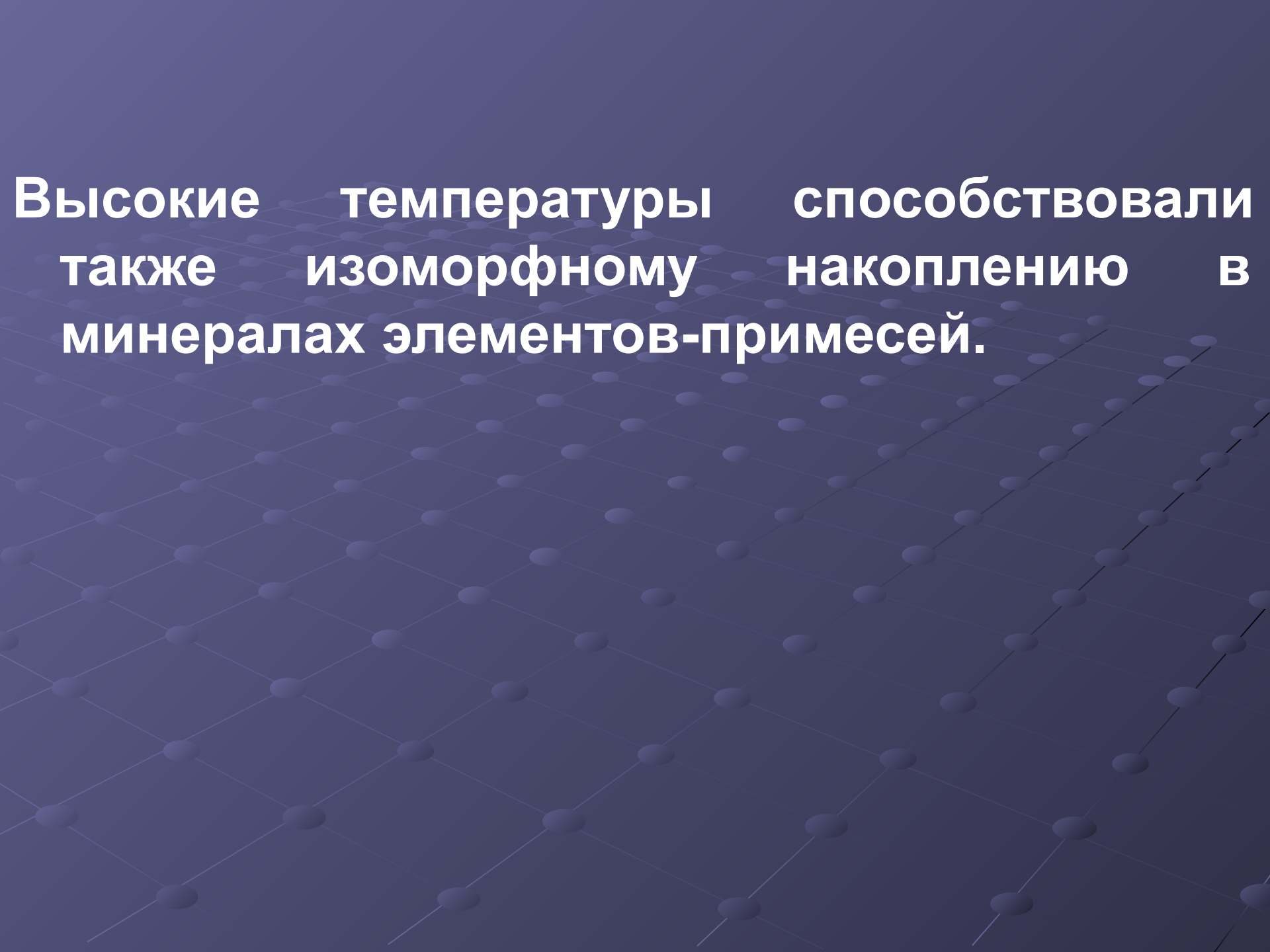
**Ультраосновные → Основные →
Кислые (породы).**

В высокотемпературных условиях (стадия протокристаллизации) собственные минералы образуют в первую очередь четно-атомные элементы с малыми размерами ионных радиусов.

Основными такими элементами являются: Mg, Si, O, Ti, Fe, Ni, Cr, Pt, Ru, Os, C, S, Ca (у подчеркнутых атомные массы кратны 4).

Стадия протокристаллизации проходила в восстановительных условиях, в результате этого в основных породах встречаются сульфиды, карбиды, углерод.

Минералы, образовавшиеся на этой стадии, в условиях биосферы быстро разрушаются; составляющие их элементы переходят в растворы, становясь доступными живым организмам.



Высокие температуры способствовали также изоморфному накоплению в минералах элементов-примесей.

При стадии мезокристаллизации (снижение температур) в породах в первую очередь увеличивается содержание SiO_2 — начинают образовываться гранитоиды.

Уменьшается роль двухвалентных катионов (Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+}) и возрастает роль одновалентных (Na^+ , K^+).

При переходе к кислым породам еще продолжают преобладать четно-атомные элементы (O, Si), но резко возрастает роль нечетно-атомных (Al, K, Na), усложняется структура основных породообразующих минералов.

Осадочные горные породы

Химические элементы, находившиеся в минеральной форме, в процессе выветривания начинают переходить в новые формы нахождения → ранее находившиеся вместе, они концентрируются отдельно в различных осадочных породах, а иногда и в разных частях биосферы.

На континентах основными твердыми природными образованиями, которые служат источниками химических элементов для организмов, являются осадочные породы, магматические породы и почвы.

Важнейшие показатели геохимических условий существования жизни – кларковые содержания химических элементов различных типов горных пород и почв, а также доступность этих элементов для организмов.

Геохимическая классификация элементов земной коры

Группы элементов	Главные ($X > 1\%$)	Второстепенные ($X=0,1\%$)	Микроэлементы ($X < 0,1\%$)	
			минералогенные	рассеянные
I. Оксифильные: литофильные	O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K	Mn, Ti, P,	Li, Be, B, F, Sr, Ba, Y и редкоземельные элементы, Zr, Nb, Ta, Sn, Cs, W, Th, U	Ga, Ge, Rb, Hf, Sc, Tl, Ra
сидерофильные	Fe	-	V, Cr, Co, Ni	-
II. Сульфофильные (халькофильные)	-	-	S, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Sb, Te, Hg, Pb, Bi	Ga, Ge, Cd, In, Re, Tl
III. Благородные	-	-	Pd, Os, Ir, Pt, Au	Ru, Rh
IV. Гидрофильные	O	H	Cl, Br, I, S	
V. Атмофильные	O	C	He, Ne, Ar, Xe, Rn	

Формы нахождения элементов в земной коре

Элементы в земной коре образуют системы относительно устойчивых химических равновесий — форм нахождения химических элементов.

В.И. Вернадский объединил основные формы нахождения химических элементов следующим образом:

- 1) горные породы и минералы (в эту же группу попали природные воды и газы);
- 2) живое вещество;
- 3) магматический расплав;
- 4) рассеяние.

В настоящее время многие химические элементы находятся в виде техногенных соединений, не имеющих природных аналогов. Алексеенко В.А. (1988) было предложено выделять такие соединения в самостоятельную форму.

Существует девять важнейших форм нахождения элементов в земной коре.

1. Самостоятельные минеральные виды

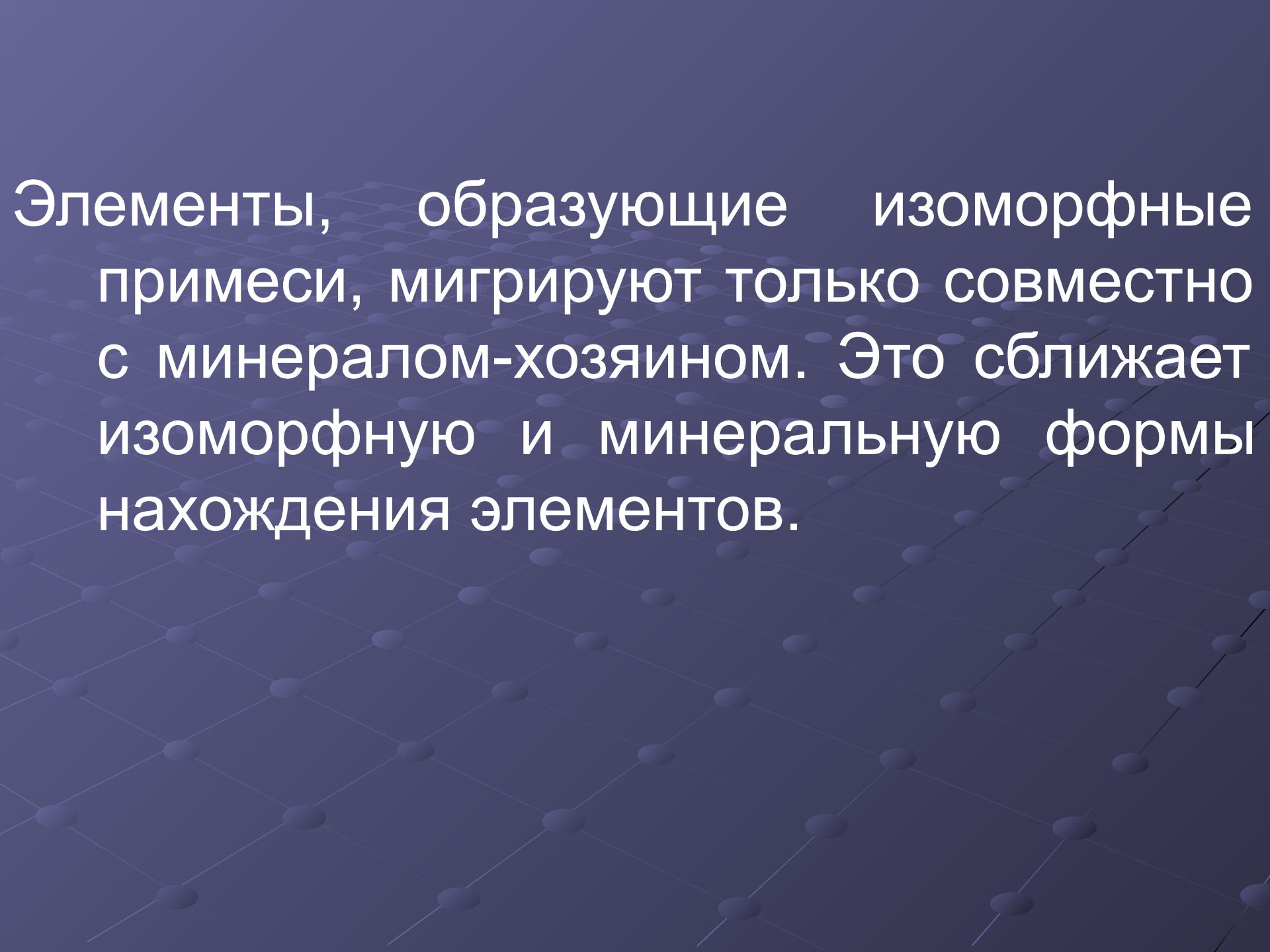
— это важнейшая для литосферы форма существования химических элементов.

Элементы, находясь в этой форме, мигрируют совместно в постоянном соотношении между собой. Миграция отдельных элементов, составляющих минералы, возможна только после их разрушения.

К минеральной форме нахождения элементов относятся и коллоидные системы с твердой дисперсной средой (кристаллозоли и кристаллогели).

2. Изоморфные смеси в минералах – закономерное замещение аналогичных элементов друг другом в кристаллических решетках.

В этой форме могут находиться практически все известные элементы, а для некоторых она является в литосфере преимущественной (Rb, Te, Pr, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Lu, Hf, Re).



Элементы, образующие изоморфные примеси, мигрируют только совместно с минералом-хозяином. Это сближает изоморфную и минеральную формы нахождения элементов.

3. Биогенная форма — нахождение элементов в животных и растительных организмах.

Впервые была рассмотрена В.И. Вернадским при изучении биосферы.

В живых организмах выявлены уже почти все известные элементы.

Большая часть геохимических процессов протекает при участии живых организмов.

4. Водные растворы составляют отдельную оболочку Земли, называемую гидросферой.

Основная часть приходится на долю Мирового океана, меньшая — на поверхностные и подземные воды континентов.

Основная часть элементов в результате диссоциации в растворах представлена анионами и катионами.

Анионы в основном комплексные, а катионы бывают связаны с молекулами воды.

Много элементов переносится в природных водных растворах в виде комплексных соединений, образующихся путем присоединения к ионам нейтральных молекул или ионов противоположного знака.

Эти соединения часто распадаются на геохимических барьерах, и снова на определенный период образуют ионные растворы.

5. Газовые смеси составляют верхнюю оболочку Земли — атмосферу.

Значительное количество газов находится в пустотах и полостях осадочных и магматических пород, почв в сорбированном состоянии, в виде включений в минералах.

Газы принимают участие в гипергенных и гипогенных геохимических процессах.

Постоянные компоненты атмосферного воздуха: N_2 , O_2 , CO_2 , Ar, Ne, Kr, Xe, H_2 , He, CH_4 , H_2O .

На газовых и нефтяных месторождениях преобладают газы CO_2 , CH_4 , Ar, N_2 , He, H_2 , H_2S .

На каменноугольных месторождениях — CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , H_2 , CO_2 , N_2 ;

В водах морей и современных осадков кроме обычных углеводородов обнаружены H_2S , NH_4 , N_2 , CO_2 , благородные газы

Среди газов магматических пород —
углеводороды, N_2 , CO_2 , H_2 , Ar;

Из вулканических газов - HCl, SO_2 , H_2S , CO_2 ,
 H_2 , Cl_2 , N_2 , Ar, S_2 , SO_3 , H_2O , CH_4 , CO.

Большинство газов находится в виде
молекул, однако в верхних слоях
атмосферы встречаются атомы и ионы.

6. Коллоидная и сорбированная формы
распространены в верхних оболочках Земли.
Они определяют многие закономерности
распределения химических элементов.

Основная особенность коллоидного состояния
веществ — гетерогенность — коллоидная
система должна состоять не менее чем из
двух фаз, при этом одна из них дисперсная
фаза (0,1—1 мкм).

Коллоиды распространены в океанических и континентальных водах, в атмосфере и на суше.

В природе образование коллоидов происходит двумя основными способами:

- дисперсионным (при разрушении в основном кристаллического вещества);
- конденсационным (при соединении молекулярных частиц до коллоидных размеров).

Коллоидные частицы металлов в атмосфере
можно разделить на две группы:

- 1) $Zn > Cu > Mn > Cr > Pb > V > Ni > As$;
- 2) $Cd > Se > Co > Hg > Sb > Sc$.

Концентрация элементов второй группы примерно на порядок ниже, чем в первой (В. В. Добровольский).

7. Техногенные соединения – соединения, не имеющие природных аналогов.

Распространены в самых различных регионах, чаще всего встречаются в почвах, донных отложениях и водах.

Техногенная форма нахождения элементов включает:

- искусственные полимеры,
- пластмассы,
- сплавы металлов,
- пестициды,
- гербициды,
- поверхностно-активные вещества и т.д.
- соединения, встречающиеся в природе, но не образующиеся природным путем в тех конкретных условиях, где они были выявлены.

8. Магматические расплавы — это сложные, изменчивые (в связи с изменением термодинамических условий), насыщенные газами системы.

Оказывают влияние на распределение и перераспределение элементов в земной коре.

В магме существуют два основных вида комплексов:

- октаэдрические группы (среди них преобладают $[\text{MgO}_6]$ и $[\text{CaO}_6]$)
- тетраэдрические (преобладают $[\text{SiO}_4]$ и $[\text{AlO}_4]$).

Кроме них существуют:

- свободные подвижные катионы,
- атомы растворенных металлов,
- отдельные молекулы (прежде всего газов).

9. Состояние рассеяния (впервые описано В.И. Вернадским в 1909 г).

Особая форма нахождения химических элементов земной коры, связанная с расположением атомов в «пустых» пространствах кристаллических решеток.

Рассеянию благоприятствует атмосфера: газ, попавший в смесь других газов, полностью в ней растворяется.

Пределом рассеяния считается нахождение 1 атома в 1 см^3 вещества.

Для ряда элементов (йода, ксенона, радона и др.) это состояние является обычным.

- Вообще в природе часто встречаются не нейтральные атомы, а ионы.
- Число ионов, принимающих участие в геохимических процессах, превышает число элементов и доходит до 150.
- Каждый ион (по В.И. Вернадскому), должен рассматриваться в процессах миграции как «особый химический элемент».