

Тема 3. Формы нахождения атомов химических элементов в геологических системах. Миграция атомов химических элементов

Форма нахождения - фундаментальное понятие геохимии введено в науку В.И. Вернадским. Способность элемента к миграции во многом определяется формой его нахождения в земной коре.

Формы нахождения представляют собой системы равновесия энергетического состояния атомов в геологических системах, зависящие от энергетических параметров этих систем.

- Водные растворы
- Газовые растворы
- Кристаллы минералов
- Живое вещество – множество организмов различных уровней организации, населяющих биосферу.
- Магма
- Плазма – сильноионизированный газ.

В каждой из форм атом химического элемента может находиться в виде *элементарных форм нахождения*: элементарных частиц (протон, нейтрон, электрон), свободного атома, ионов (простых Ca^{2+} и сложных SO_4^{2-}), молекул - H_2O .

- **Миграция** – перемещение атомов в пространстве.
- **Среда миграции** – это геохимическое пространство различного фазового состояния. Среда может быть жидкой, газообразной и твердой.
- Причина миграции – это изменение параметров среды миграции.
- А.Е. Ферсман разделил факторы (параметры) миграции на внутренние и внешние.
- **Внутренние факторы** – это свойства химических элементов, определяемые строением атомов, их способность давать летучие или растворимые соединения, осаждаться из растворов и расплавов и т. д.
- **Внешние факторы** – это параметры обстановки миграции: температура, давление, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия и т.д.
- Изменение параметров среды миграции приводит к концентрации или рассеянию атомов.

Виды миграции

- **Механическая миграция** обусловлена работой рек, течений ветра, ледников, вулканов, тектонических сил и других факторов, детально изучаемых в других науках о Земле. Среда миграции – жидкая и газообразная. Атомы химических элементов перемещаются в составе обломков горных пород, минералов, растительных и животных организмов.
- **Физико-химическая миграция** обусловлена изменением внешних параметров среды миграции. Среда миграции – жидкая, газообразная, кристаллы минералов. Атомы мигрируют в форме ионов или молекулярных растворов.
- **Биогенная миграция** обусловлена деятельностью живого вещества. Атомы мигрируют в живых организмах.
- **Техногенная миграция** обусловлена социальной деятельностью общества. Отличительная особенность данного вида миграции от других видов огромное ускорение процессов миграции.

Классификация геохимических барьеров

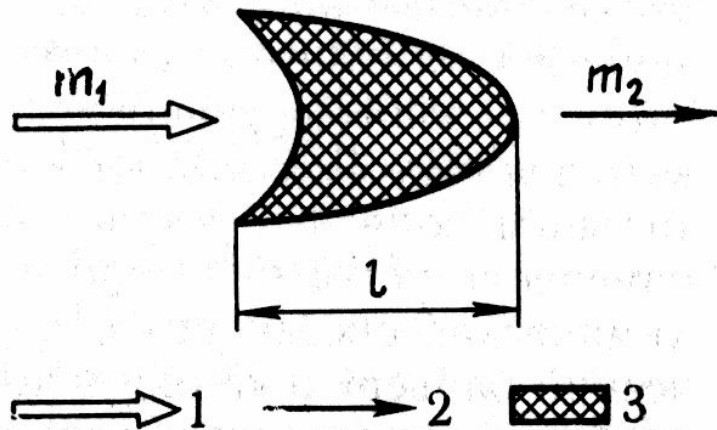


Рис. 18. Параметры геохимического барьера:

1 — направление миграции химических элементов до барьера, *2* — после барьера, *3* — область концентрации элементов на барьере (рудные тела, аномалии и др.), *m₁* — геохимические характеристики среды до барьера, *m₂* — после барьера, *l* — длина барьера

- **Геохимический барьер** — участки земной коры, в которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация.
- Термин «**геохимический барьер**» предложен в 1961 г. А.И. Перельманом.

- Выделяются два основных типа барьеров – *природные и техногенные.*
- *Природные* делятся на три группы: *механическую, физико-химическую и биогеохимическую.*
- *Техногенные* также делятся на три группы: *механическую, физико-химическую и биогеохимическую.*
- На геохимических барьерах образуются рудные тела месторождений, понятие о барьерах является одной из методологических основ изучения геохимических аномалий и, следовательно для разработки методики геохимических поисков месторождений полезных ископаемых.

Механическая группа барьеров проявляется на участках резкого уменьшения интенсивности механической миграции. К ним приурочены различные продукты механической дифференциации осадков.

- В группе по ведущему внешнему фактору миграции выделяются следующие классы барьеров:
- **Гидродинамический** – проявляется в руслах рек, на берегах озер, морей и океанов, где происходит резкое снижение скорости течения. В результате обломки горных пород и минералов из миграционного потока осаждаются на дно, где образуют концентрацию обломочных горных пород, россыпи золота, платиноидов, алмаза и др.
- **Аэродинамический** – проявляется при снижении скорости воздушного потока. В результате в субаридных и аридных районах возникают золотые аккумуляции песков, лесса, кальцитизация верхних горизонтов, золотые россыпи золота, алмазов.
- **Фильтрационный** – возникает по глинистым отложениям через которые фильтруются ионные растворы, а механические частицы раствора задерживаются.

Плотиковый – проявляется при наличии плотных пород на пути вертикальной миграции обломочных частиц. В результате образуются повышенные концентрации тяжелых минералов (аллювиальные россыпи золота, платиноидов, касситерита и др.).

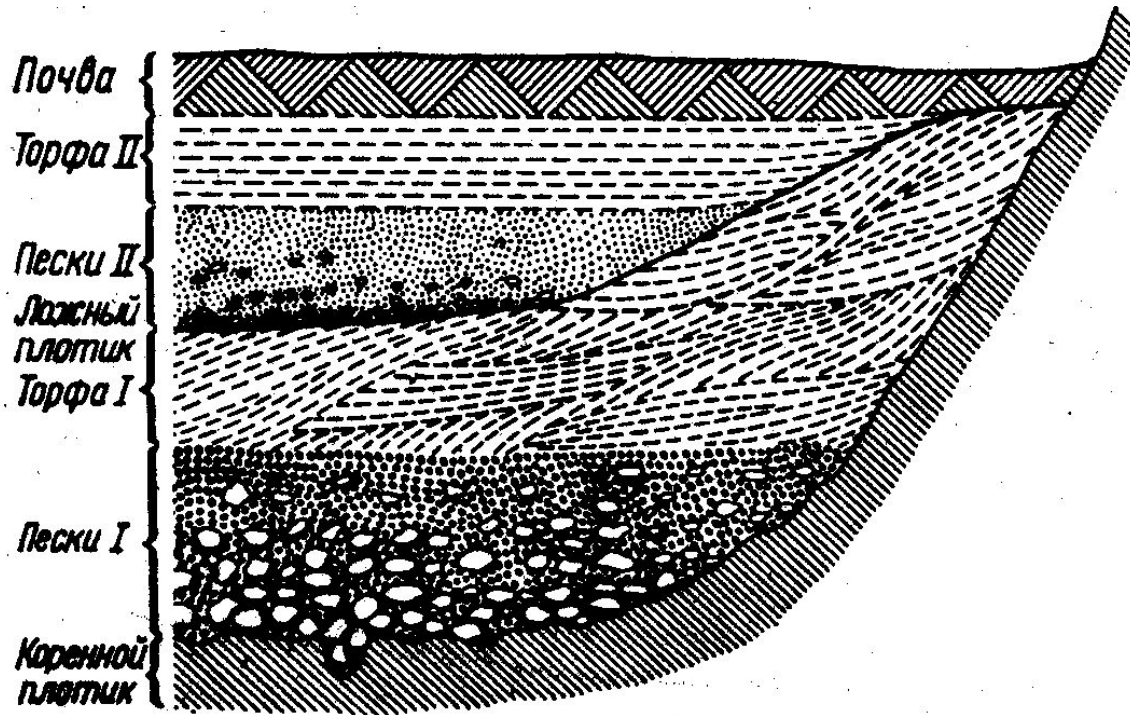


Рис. 90. Схема строения аллювиальной россыпи в поперечном разрезе

Физико-химическая группа барьеров возникает в местах резкого уменьшения интенсивности физико-химической миграции. Геохимические барьеры возникают в местах изменения температуры, давления, окислительно-восстановительных, щелочно-кислотных и других условий.

- **Барический** – проявляется на участках резкого падения давления. Барьер формируется в местах резкого понижения давления CO_2 в подземных водах, на нем осаждаются кальцит и другие карбонаты:
- $$\underbrace{\text{Ca}^{2+}}_{\text{раствор}} + \underbrace{2\text{HCO}_3^-}_{\text{раствор}} = \underbrace{\text{CaCO}_3}_{\text{твердый}} + \text{H}_2\text{O} + \underbrace{\text{CO}_2}_{\text{газ}}$$
- Так образуются кальцитовые гидротермальные жилы, травертины в местах выхода на поверхность углекислых источников, кальцитовые горизонты в почвах и осадочных породах.
- Причина понижения давления CO_2 - тектонические подвижки, раскрытие полостей на глубине, разгрузка вод на поверхности и т.д.

Температурный - проявляется на участках резкого повышения или падения температуры.

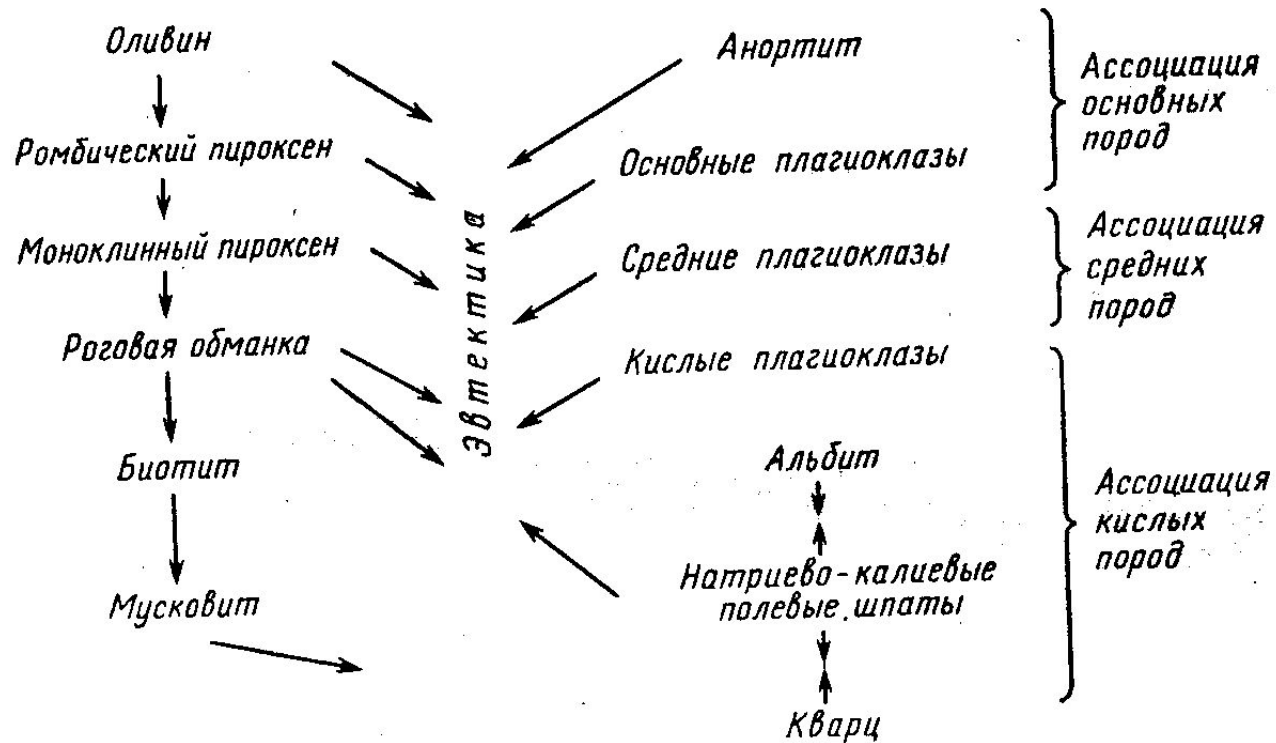


Рис. 6. Реакционные ряды Н. Боуэна с дополнениями А. Н. Заварицкого (1950)

Термобарический – проявляется на участках одновременного резкого падения температуры и давления. Результат деятельности барьера образование различных минералов и горных пород.

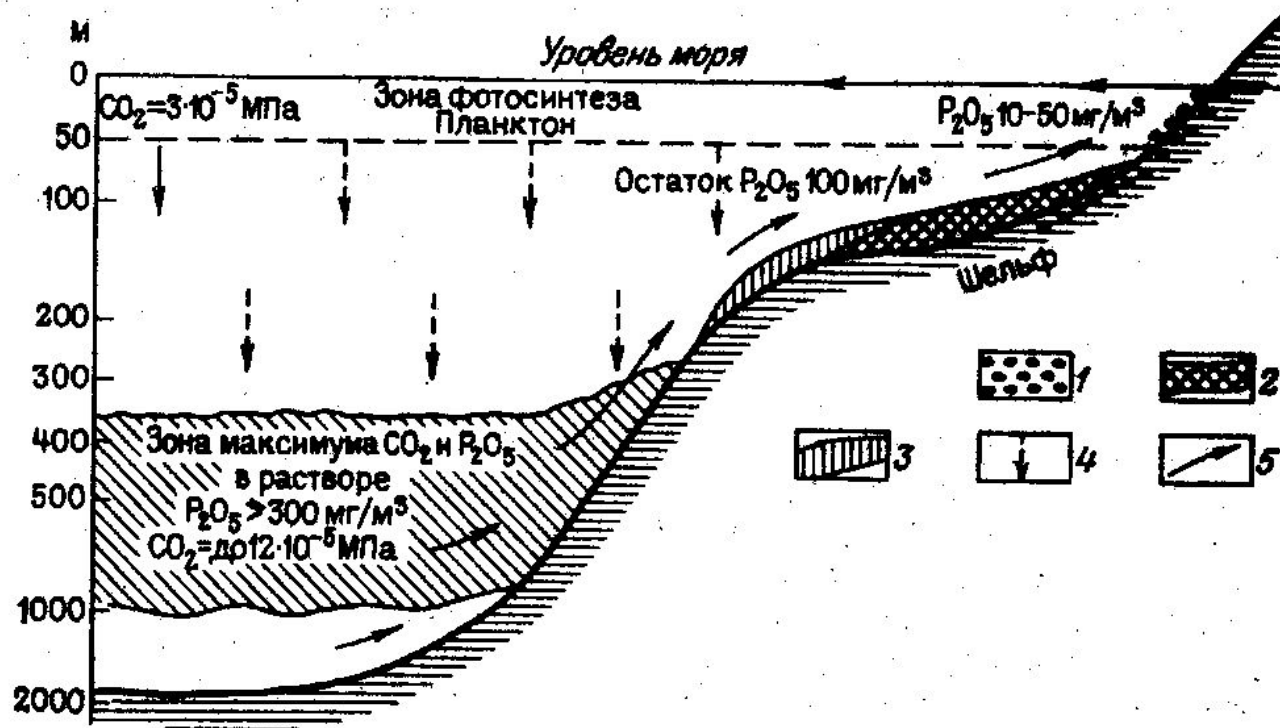


Рис. 103. Схема фосфоритообразования — осаждения фосфатов из морской воды в зоне шельфа в условиях восходящих холодных глубинных течений. По А. Казакову:

1—3 — фации: 1 — береговых галечников и песков, 2 — фосфоритная, 3 — известковых осадков; 4 — падение остатков планктона; 5 — направление течений

Кислый – проявляется на участках среды миграции, где происходит смена нейтральной или щелочной среды на кислую. Обусловлен понижением pH . Имеет значение для концентрации анионогенных элементов (Si, Ge, Mo). Роль барьера в образовании руд и аномалий меньше, чем щелочного.

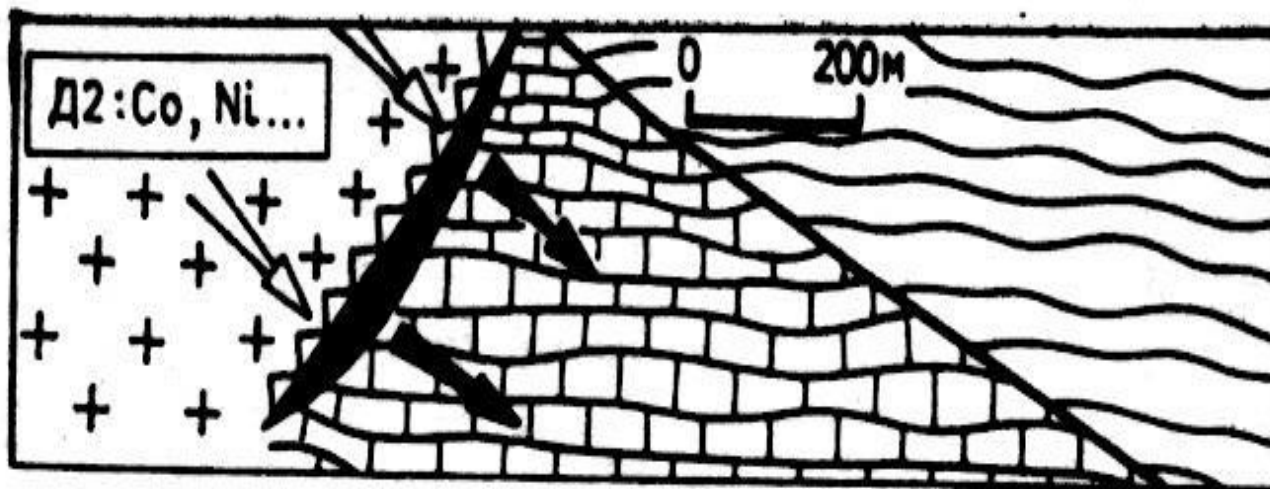
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		I	II	III	IV	V	VI	VII	0	
1	H																He	
2	Li	Be	B										C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg	Al										Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Pa	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U												

1234

Рис. 26. Катионогенные и анионогенные элементы в земной коре:
 1 — элементы, образующие только катионы, 2 — элементы, образующие только анионы,
 3 — амфотерные элементы — катионогенные и анионогенные (в том числе элементы, образующие комплексные анионы), 4 — элементы, у которых ионная форма отсутствует или не характерна

Щелочной – проявляется на участках среды миграции, где нейтральная и кислая среда сменяется щелочной. Обусловлен повышением pH .

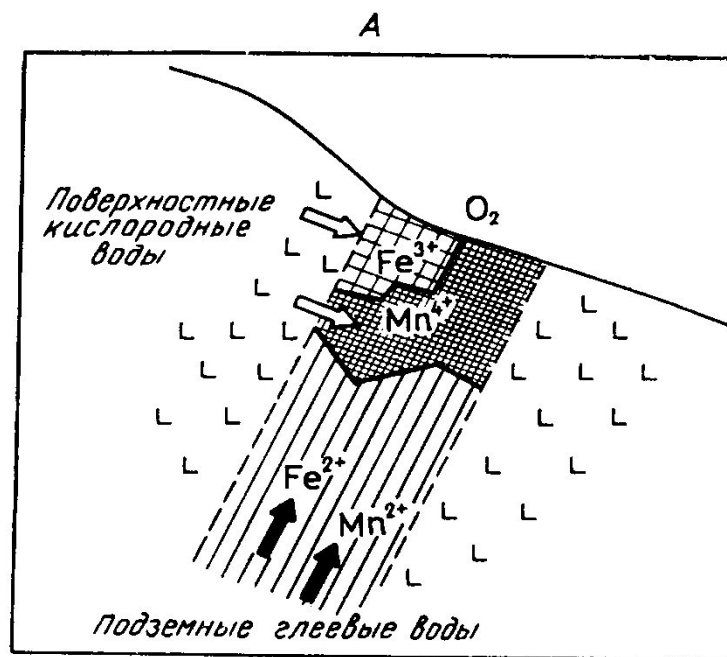
- Имеет большое значение для концентрации катионогенных элементов. Образуются минералы – гидроксиды, карбонаты, фосфаты, ванадаты и др.



Щелочной барьер на контакте силикатных и карбонатных пород

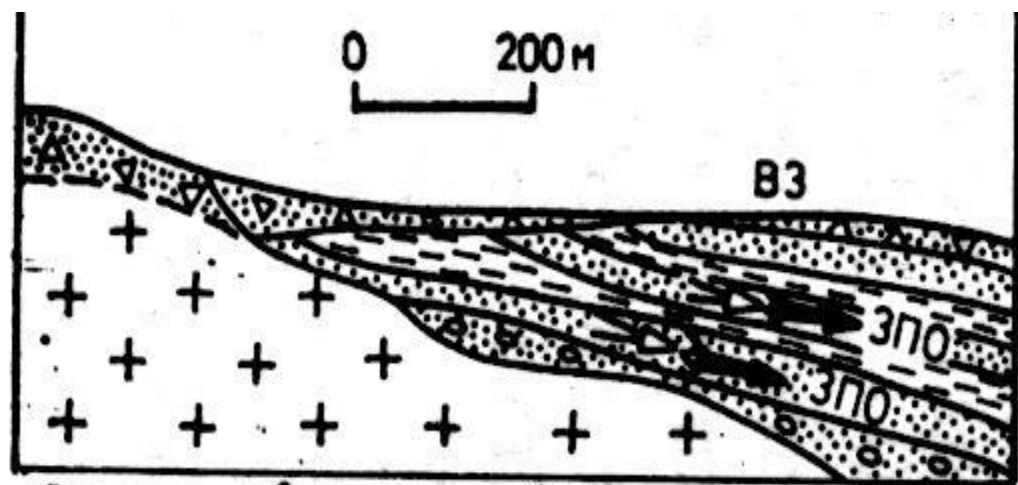
Окислительный – проявляется на участках миграции, где происходит резкая смена восстановительных условий на окислительные. Обусловлен повышением Eh .

- Сильные окислители: кислород, перекись водорода, сера в форме сульфат иона и др. На земной поверхности особенно характерна концентрация Fe, Mn, Co, S, Se.



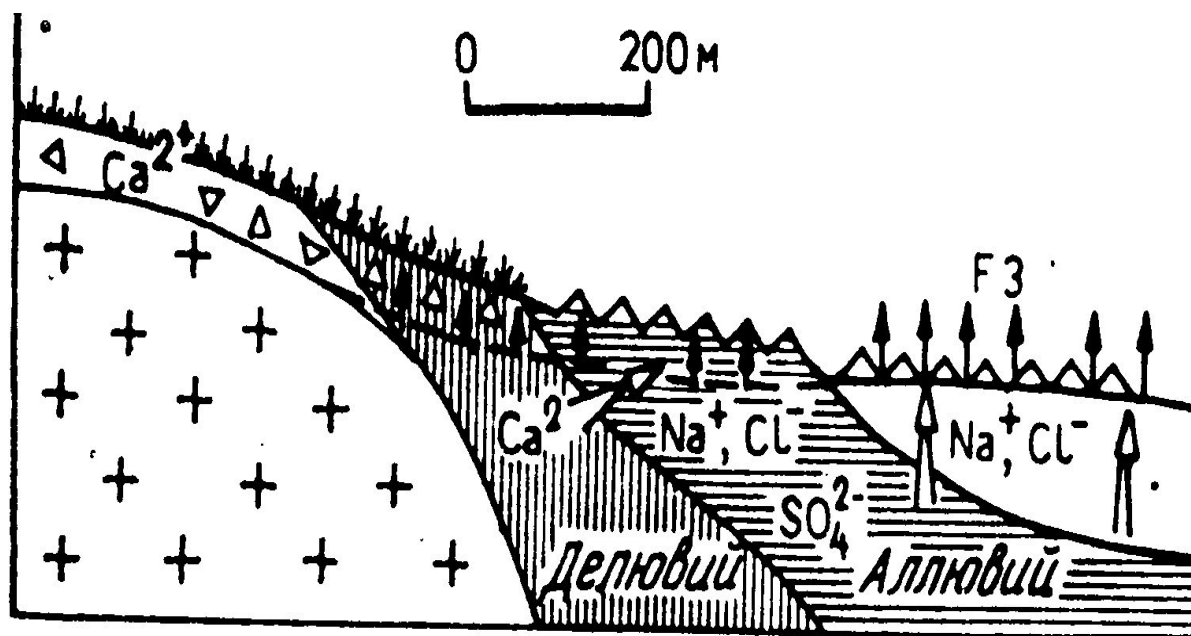
Восстановительный – проявляется на участках миграции при резком увеличении восстановленности среды. Обусловлен понижением Eh . В зависимости от состава восстановителей барьер делится на два покласса:

1. **Глеевый (бессероводородная обстановка)** обусловлен присутствием растворимых органических соединений, метана, водорода, Fe^{2+} . Характерно минералообразование самородных металлов меди, золота, селена, сидерита, вивианита и др. минералов.
2. **Сероводородный или сульфидный** – обусловлен присутствием H_2S , HS^- , местами S^{2-} . На барьере концентрируются сульфиды (пирит, марказит, галенит, сфалерит и др.), самородные элементы золото, селен, серебро.



Восстановительный барьер на выклинивании зоны пластического окисления

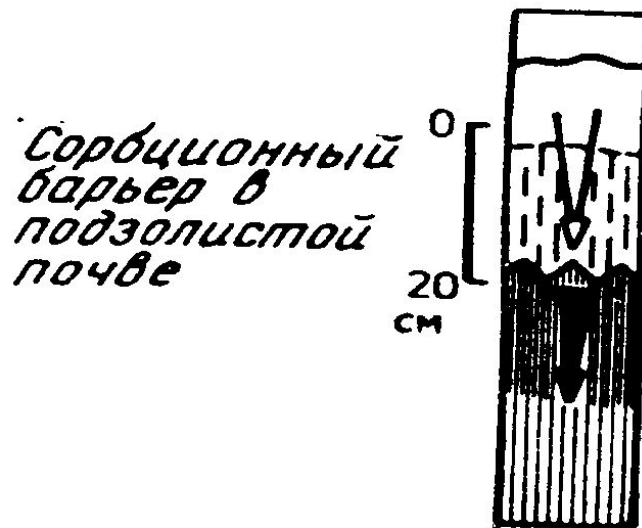
Испарительно-концентрационный – проявляется на участках концентрации элементов в горных породах, почвах, морях, озерах в условиях жаркого климата (постоянно высокая температура) при испарении воды и как следствие понижения произведения растворимости. Имеет значения для формирования сульфатов, карбонатов, солей.



Испарительный барьер в пустыне

Сорбционный – проявляется на контакте вод с сорбентами, на поверхности которых образуются концентрации вещества.

- Характерен для морских и озерных илов, краевых зон болот, почв, кор выветривания, контактов глин и песков в водоносных горизонтах.



Инфильтрационно-диффузионный – проявляется на пути движения жидкостей, газов при наличии плотных, непроницаемых пород, препятствующих движению. На барьере возникают концентрации вод, газов, нефти.

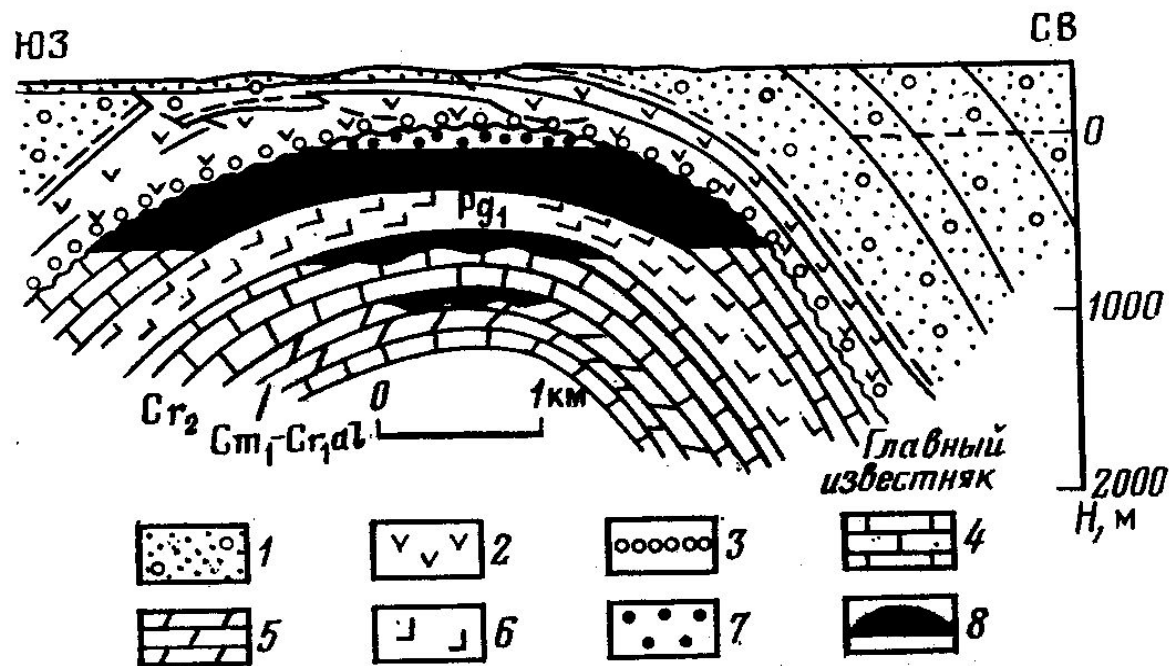


Рис. 129. Залежи нефти и газа в пластовом сводовом природном резервуаре, месторождение Киркук, Иран.

1 — моласса; 2 — соляные породы; 3 — базальный конгломерат; 4 — известняк; 5 — мергель; 6 — ангидрит; 7 — газ; 8 — нефть (по Р. Мейнхолду)

Биогенная группа барьеров обусловлена уменьшением биогенной миграции (угольные залежи, торф, концентрации элементов в телах организмов и т. д.).

- **Фитогенный** – представлен всеми видами водорослей и растений, существующих в гидросфере и тропосфере. Зеленые растения в результате фотосинтеза синтезируют углеводы $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$ и другие органические соединения: белки, жиры. Поглощают из почвы и накапливают химические элементы и соединения: H_2O , P, Ca, Mg, K, F и др.
- **Зоогенный** – представлен животным миром и человеком. Концентрация в живой ткани и скелете C, H, O, Ca, P.
- **Бактериальный** – представлен различными бактериями в клетках которых накапливаются элементы. В клетках бактерий накапливаются химические элементы. Известны серобактерии с концентрацией в клетках S, железобактерии – Fe и др.