Миграция химических элементов во времени и в пространстве

- ✓ космическое рассеяние
- ✓ реакции радиоактивного распада
- ✓ перегруппировка элементов между геосферами и внутри геосфер в результате воздействия факторов миграции

- *внешних - энергия солнечного излучения, внутренняя энергия Земли, действие сил гравитации*
- *внутренних - свойства элементов*

Степень вовлечения химических элементов в миграцию

Абиогенную *Биогенную* *Техногенную*

✓ ***Кларк концентрации ($K_к$)*** - отношение содержания химического элемента в исследуемом компоненте природной среды к его кларку в том же компоненте:

$$K_к = C_i/K$$

Смысловой аналог применительно к геохимическому полю - ***коэффициент концентрации Кс:***

$$K_c = C_i/C_ф$$

Абиогенная водная миграция

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x}$$

m_x – содержание элемента в воде (г/л),
а – минерализация (г/л),
n_x – содержание в породах (%)

Классификация элементов по особенностям водной миграции

(по Перельману А.И., Касимову Н.С., 1999, с изм)

Интенсивность миграции	***Коэффициент водной миграции***	*Примеры элементов*
Активные водные мигранты		
Очень сильная	n·10÷n·100	S, Cl, B, Br, I
Сильная	n	Ca, Na, Mg, F, Sr
Слабо подвижные и инертные элементы		
Средняя	0,n	Si, K, P, Ba, Rb, Li, Cs, As
Слабая и очень слабая	0,0n и менее	Al, Ti, Zr, Cr, TR, Nb, Ta, W, Au, Pt, Th
Элементы с контрастной миграционной способностью		
Подвижные и слабо подвижные ***в окислительной среде***		Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Hg, Ag V, U, Mo, Se
Подвижные и слабо подвижные ***в восстановительной среде*** *(без H_2S, S^{2-})*		Fe, Mn, Co

Биогенная миграция

- ✓ ***Биофильность элементов*** - кларки концентрации элементов в живом веществе относительно литосферы.

- ✓ *В прикладных исследованиях характеризуется* ***коэффициентом биологического поглощения Ax*** - отношением содержания химического элемента в золе растений к его содержанию в почве или горной породе (*Б.Б. Полынов, 1944*).

Ряды биологического поглощения элементов

(по А.И. Перельману, Н.С. Касимову, 1999)

Степень поглощения элементов	A_x	*Элементы*
Элементы биологического накопления		
Энергичная	n·10-n·100	S Cl Br J
Сильная	n-n·10	Ca Na K Mg Ag F Se Zn Mo B P
Элементы биологического захвата		
Средняя	0,n - n	Mn Si Fe Ba Rb Cu Co Ni Li Y Cs Ge Hg Sb As
Слабая	0,0n – 0,n	Al Ti V Cr Pb Sn W U
Очень слабая	0,00n-0,0n	Sc Ta Hg Os Pd Ra Pt Rh

Техногенная миграция

- ***Технофильность химических элементов*** (Т, т/%) - отношение ежегодной добычи (целенаправленного извлечения) или производства элемента к его кларку в литосфере (*по А.И Перельману, 1960-е гг.)*

$$T_i = Q_i / K_i$$

T_i – технофильность химического элемента i;
Q_i – его ежегодная добыча, тонн;
K_i – кларк элемента i в литосфере, %.

- Может быть рассчитана для всего *мира, группы стран* или *отдельной страны*.

- Общей тенденцией временной динамики технофильности является *изменение* этого показателя для различных элементов *с увеличением по мере промышленного освоения* и вовлечения элементов в производство.

Особенности техногенной миграции:

- Характерное для ноосферы металлическое состояние Fe, Al, Cu, Zn и других металлов.
- Во все большем количестве производятся не существовавшие ранее химические соединения, обладающие неизвестными у природных материалов свойствами (искусственные полимеры, пластмассы).
- Производство атомной энергии, получение радиоактивных изотопов.
- Многие химические элементы в техногенных ландшафтах ведут себя иначе, чем в природных условиях, за счет изменения и усложнения форм миграции, образования комплексных соединений с органическими загрязнителями, метилирования и др.
- В природных и техногенных ландшафтах слабо изучена геохимия большинства созданных человеком искусственных органических соединений.
- Экспорт-импорт и другие виды миграции, подчиняющиеся социальным законам.

Современные тенденции изменения технофильности:

- Практически не изменилась Т главных технофилов 1980-х годов – C, Cl и S, а также Au, U, Ge и K.
- Продолжилось «ожелезнение» планеты, установленное еще в конце 1960-х годов. За счет роста загрязнения в развивающихся странах возобновился рост технофильности Bi, Ag, Sn, Cu, Zn, Cr, Ni, Co, а также Sb, Mo As → подтвердилась тенденция к «металлизации» поверхности Земли.
- Использование азотных удобрений и производство биотоплива привело к увеличению технофильности N.
- Самая яркая тенденция первого десятилетия XXI в. – более чем 5-кратное увеличение технофильности Pt, Pd, Re, In, V, Y, среди макроэлементов – Mg (использование в автомобилестроении), Si (производство строительных материалов, кремний-органических соединений, широкое применение в вычислительной технике и электронике и др.).
- Произошло сильное сокращение технофильности самых опасных загрязнителей (Hg) или отсутствие роста технофильности (Cd, Pb), что соответствует общей тенденции уменьшения использования этих токсичных металлов в промышленном производстве.

Treatise on Geochemistry (2nd Edition)
Vol 11. Environmental Geochemistry

Касимов, 2013

- ✓ ***Элементарный ландшафт*** – *участок земной поверхности*, характеризуемый *единообразными условиями миграции химических элементов*, с однородными климатическими и геологическими условиями, с определенным типом растительности, рельефа и почвы (Б.П. Полынов, 1940-50-е гг.).

Типичный элементарный ландшафт должен представлять:

- ❑ ***один*** *определенный* ***элемент рельефа***,
- ❑ *сложенный* ***одной породой*** *и*
- ❑ *покрытый* ***определенным растительным сообществом***.

Фация (Л. Берг)
Биогеоценоз (В. Сукачев)
Микроландшафт (И. Ларин)

- ✓ ***Критерий выделения элементарного ландшафта*** - при отнесении какого-либо участка земной поверхности к элементарному ландшафту необходимо учитывать возможность распространения данного элементарного ландшафта на значительно большей территории.

Характеристики элементарных ландшафтов

✓ ***Площадь выявления*** - наименьшая площадь, на которой представлены все части данного элементарного ландшафта.

- *Величина площади выявления зависит от интенсивности процессов миграции в рамках элементарного ландшафта, что в свою очередь напрямую связано с многообразием биоты.*
- *Наименьшие площади выявления характерны для пустынь без высшей растительности (солончаки, такыры), а наибольшие – для лесных ландшафтов влажных тропиков с их огромным видовым разнообразием.*

✓ ***Мощность элементарного ландшафта*** - расстояние от нижней до верхней границы:

тропосфера

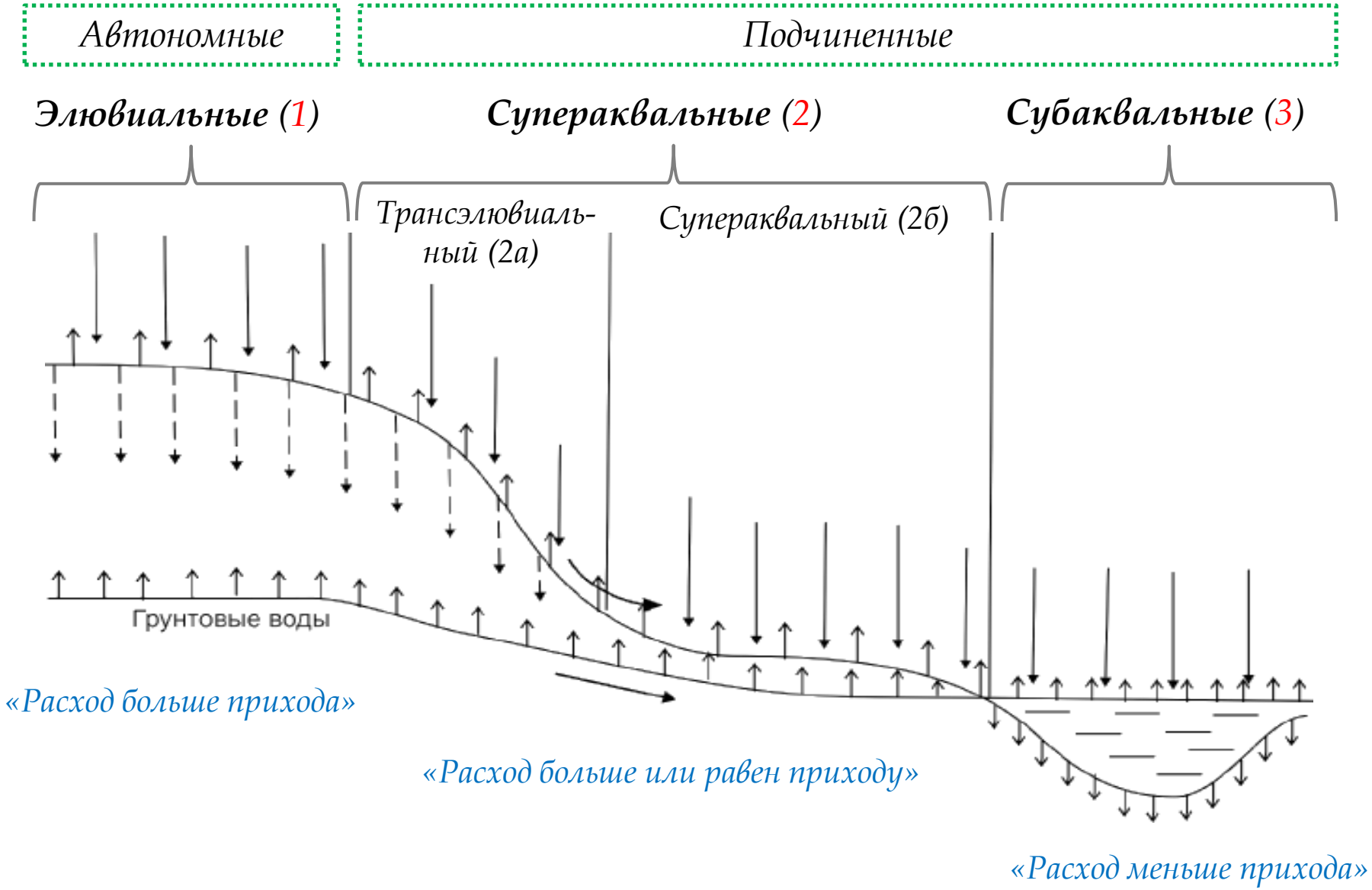
первый водоносный горизонт

По вертикали элементарные ландшафты расчленяются на отдельные ярусы, или горизонты:

- *надземная часть ландшафта (атмосфера, растительность, животный мир),*
- *почва,*
- *почвоподстилающая кора выветривания с материнскими горными породами,*
- *водоносный горизонт.*

Виды элементарных ландшафтов по условиям миграции

По Б. Полынову:



Виды элементарных ландшафтов (фаций) по условиям миграции

По М. Глазовской:

элювиальные (**1**),

аккумулятивно-элювиальные (**2**),

трансэлювиальные (**3**)

элювиально-аккумулятивные,
или трансаккумулятивные (**4**),

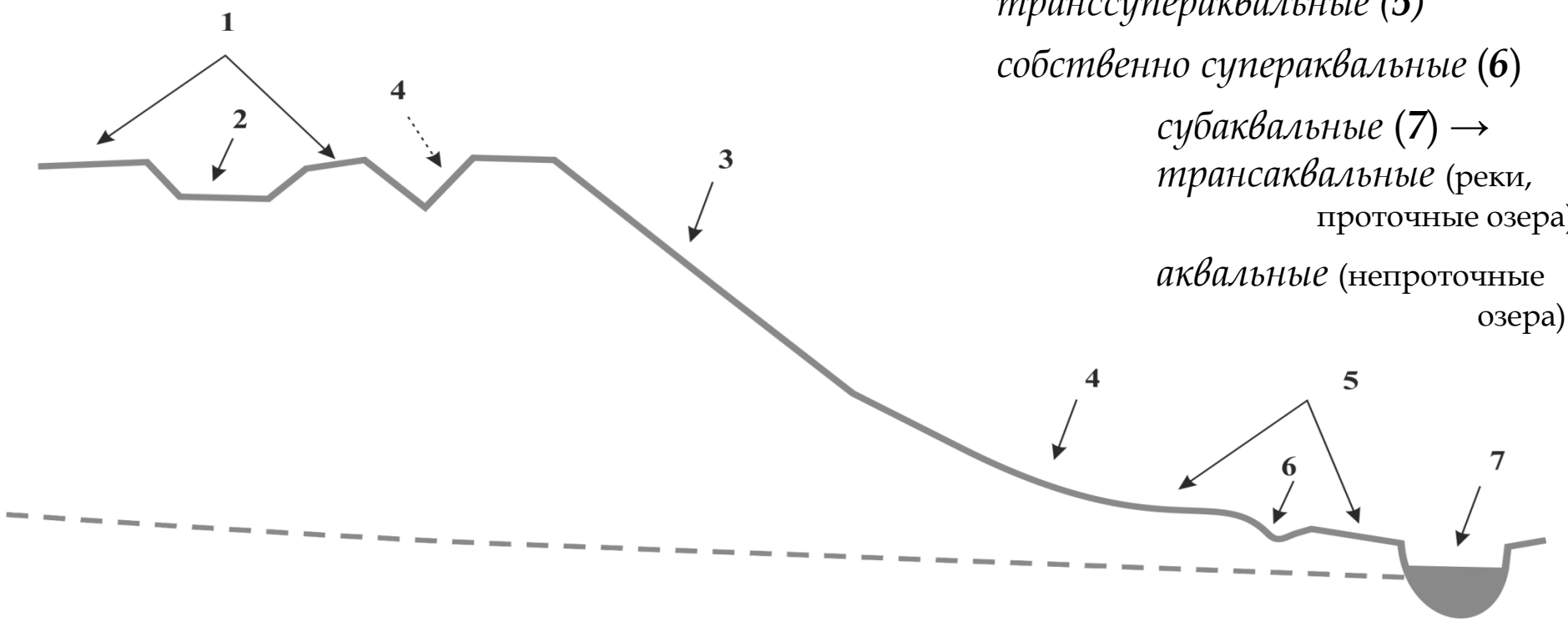
супераквальные→

транссупераквальные (**5**)

собственно супераквальные (**6**)

субаквальные (**7**) →
трансаквальные (реки, проточные озера)

аквальные (непроточные озера)



Виды элементарных ландшафтов (фаций) по условиям миграции

Элювиальные фации – плакорные поверхности со слабым уклоном (1–2 ^{o}), отсутствует существенный смыв почвы и преобладает атмосферное увлажнение

Аккумулятивно-элювиальные фации – бессточные или полубессточные водораздельные понижения (впадины, западины) с затрудненным стоком, дополнительным водным питанием за счет натечных вод, частым образованием верховодки, но с глубоким залеганием грунтовых вод.

Трансэлювиальные фации – верхние, относительно крутые (не менее 2–3 ^{o}) склоны, питаемые в основном атмосферными осадками, с интенсивным стоком и плоскостным смывом и значительными микроклиматическими различиями в зависимости от экспозиции склонов.

Элювиально-аккумулятивные, или трансаккумулятивные фации – нижние участки склона, подножий, с обильным увлажнением за счет стекающих сверху натечных вод, нередко с делювиальными отложениями.

Супераквальные фации – надводные фации, формируются в местоположениях с близким залеганием грунтовых вод → верхние горизонты почвы обогащаются химическими элементами, обладающими наибольшей миграционной способностью. Подразделяются на *транссупераквальные* и *собственно супераквальные* (замкнутых понижений со слабым водообменном).

Субаквальные фации – подводные фации, образуются на дне водоемов. Материал доставляется сюда главным образом стоком. Донный ил нарастает снизу вверх и может быть не связан с подстилающей породой. В илах накапливаются химические элементы, наиболее подвижные в данных условиях. Вместо гумуса образуются сапропели. Подразделяются на *трансаквальные* (реки, проточные озера) и *аквальные* (непроточные озера).

ИТОГ

Виды элементарных ландшафтов по условиям миграции

В общем виде обычно выделяют **4 *вида элементарных ландшафтов***:

- ✓ *автономные элювиальные ландшафты водоразделов* с глубоким залеганием водоносного горизонта;
- ✓ *подчиненные трансэлювиальные ландшафты горных склонов*;
- ✓ *подчиненные супераквальные (надводные) ландшафты* с близким к поверхности залеганием грунтовых вод;
- ✓ *подчиненные субаквальные (подводные) ландшафты*.

Элементарные ландшафты, сменяющие друг друга от местного водораздела к местной депрессии, связанные между собой миграцией веществ, представляют собой геохимически сопряженный ряд, получивший название местный ***геохимический ландшафт.***

Систематика ландшафтов

(А.И. Перельман, Н.С. Касимов)

Таксономические единицы:

Ряды → **Группы** → **Типы** → **Семейства** →

по виду миграции: ↓

Абиогенные
Биогенные
Техногенные

по соотношению биомассы (Б) и ежегодной продукции (П) ↓

А. Лесная
В. Степная-луговая-саванновая
С. Тундровая
D. Пустынная
Е. Примитивно-пустынная

основной фактор формирования - климат, закономерность размещения – высотная и широтная зональность

по величине П и скорости разложения ОВ ↓

Леса лиственные, смешанные, хвойные и т.д.

по величине П с учетом континентальности климата ↓

Северное, Среднее, Южное

Тундровый тип: *северная (арктическая), средняя (мохово-лишайниковая), южная (кустарниковая) тундра*

→ **Класс** → **Род** → **Вид**

по особенностям водной миграции

по особенностям механической миграции,

по геохимической классификации подстилающих горных пород

- **Класс** элементарного ландшафта выделяется по особенностям водной миграции и доминирующим типоморфным элементам в горизонте А почв. Выделяется **12 основных классов вод (обстановок)** по совокупности

окислительно-восстановительных условий:

- ***Кислородные воды*** (O_2)
- ***Глеевые воды*** (восстановительные без сероводорода)
- ***Сероводородные воды*** (содержат H_2S, HS^-)

кислотно-щелочных условий:

- ***Сильнокислые*** *(pH < 3)*; типоморфные ионы — H^+, SO_4^{2-}, Fe^{3+}, Al^{3+}, Zn^{2+}, Cu^{2+} и др.; рудничные воды или техногенные
- ***Кислые и слабокислые*** *(3 < pH < 6,5)*; типоморфные ионы — H^+, анионы органических кислот; гумидные ландшафты
- ***Нейтральные и слабощелочные*** *(pH = 6,5—8,5)*; гидрокарбонатно-кальциевые типоморфные ионы — Ca^{2+}, HCO_3^-; хлоридно-сульфатные; типоморфные ионы — Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}; гипсовые, типоморфные ионы — Ca^{2+}, SO_4^{2-}; аридные ландшафты
- ***Сильнощёлочные /содовые/*** *(pH > 8,5)*; типоморфные ионы и соединения — HCO_3^-, CO_3^{2-}, OH^-, Na^+ ; аридные ландшафты

- **Род ландшафта** - выделяется по особенностям механической миграции, определяемым рельефом.

  I – плоские равнины с замедленным водоообменом, слабым эрозионным расчленением или без него (приморские низменности, аллювиальные равнины и прочие области тектонических опусканий, вулканические и другие плато).
  (*соответствует подчиненным супераквальным ландшафтам*).

  II – эрозионные возвышенности, расчлененные плато с более энергичным поверхностным и подземным стоком, плоские поверхности чередуются со склонами.
  (*соответствует автономному элювиальному ландшафту*).

  III – сильно холмистый и горный рельеф, преобладают склоновые поверхности, плоских участков почти нет**.**
  (*соответствует подчиненным трансэлювиальным ландшафтам*).

- **Виды ландшафтов** - выделяются в пределах родов по геохимической классификации подстилающих горных пород или формаций.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ

- ***Геохимические барьеры*** - участки земной коры, в которых *на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции* элементов и, как следствие, их концентрация *(А.И. Перельман, 1961).*

- Различают ***макро-, мезо- и микробарьеры***.

Макробарьеры (n*100-n*1000 м) – зона смешения пресных речных и соленых морских вод в дельтах

Мезобарьеры (n - n*10 м) – краевые зоны болот, где накапливаются многие элементы, выщелоченные из почв водоразделов и склонов.

Микробарьеры (n мм- n см) – ортзанды в почвах - сцементированные окислами Fe или гумусом уплотненные участки песчаных и супесчаных почв (обычно в горизонтах A_2 и B почвенного профиля подзолистых почв).

- По стабильности своего положения геохимические барьеры подразделяются на ***подвижные*** и ***неподвижные***.

Неподвижные барьеры занимают фиксированное положение в пространстве. Распространены более широко, так как обычно смена параметров среды связана с изменением каких-то характеристик ландшафта.

Подвижные барьеры могут возникнуть в тех случаях, когда сам миграционный поток является причиной изменения химизма среды.

Пример: поток грунтовых вод, богатых кислородом, проникает вглубь зоны, характеризующейся восстановительной обстановкой.

- В зависимости от направленности движения миграционного потока можно выделить барьеры ***латеральные*** и ***радиальные***.

На ***латеральном барьере*** миграция происходит по горизонтали, из одного элементарного ландшафта в другой. В этом случае барьеры *приурочены к границам ландшафтов*, резко различающихся по условиям миграции.

Радиальные барьеры связаны с вертикальной миграцией вод, они *локализованы внутри соответствующих ландшафтов*, на границах раздела сред по вертикали.

- Геохимические барьеры, в пределах которых осаждение химических элементов вызывается несколькими *одновременно действующими факторами их миграции*, носят название ***комплексных (совмещенных) геохимических барьеров***.

- Геохимические барьеры, процессы осаждения химических элементов на которых протекают в режиме *последовательной многократной смены направления миграционных потоков* и в связи с этим полярности факторов осаждения носят название ***двусторонних геохимических барьеров.***

- По **генезису** все геохимические барьеры подразделяются:
  - ***природные*** - смена факторов миграции и геохимических обстановок обуславливается природными особенностями конкретного участка биосферы
  - ***техногенные*** - смена факторов миграции происходит в результате антропогенной деятельности.

- Эффективность геохимического барьера определяется его ***градиентом*** и ***контрастностью***.
  - ***Градиент барьера*** – это скорость нарастания изменения параметров среды по направлению миграционного потока:

$$G = (m_1 - m_2)/l,$$

где **l** – протяжённость барьера; m_1 и m_2 – геохимические параметры среды до и после барьера (параметры любые – кислотность, окислительно-восстановительный потенциал, давление и т.д.).

  - ***Контрастность барьера*** – отношение величин геохимических параметров в направлении потока до барьера и после него:

$$S = m_1 / m_2$$

- В зависимости *от факторов, вызывающих смену геохимической обстановки*, различают, по А.И. Перельману:
  - ***механические,***
  - ***биогеохимические,***
  - ***физико-химические и термодинамические барьеры***.

- ***Механические барьеры*** образуются на участках резкого уменьшения интенсивности механической миграции

Изменение скорости водного или воздушного потока:

- *гидродинамический*
- *аэродинамический*
- *фильтрационный барьеры*

Примеры:

- *запруды*
- *защитные лесополосы вдоль полей*
- *габионные сооружения*
- *дамбы*
- *специальные пластиковые ограждения вдоль магистралей (экраны)*
- *и т.д.*

В ***геологии*** с такими барьерами, как правило, связаны ***россыпные месторождения*** Au, Pt, Sn, Zr, Ti и других элементов.

- ***Биогеохимические барьеры*** являются пространственным выражением биогенной аккумуляции химических элементов (отражают концентрационную функцию живого вещества).

Примеры: растительный покров суши, гумусовый горизонт почв, колонии микроорганизмов и др.

С биогеохимическими барьерами связано образование ряда месторождений полезных ископаемых – ***торфа, угля, некоторых металлических руд***.

- ***Физико-химические барьеры*** приурочены к узким пограничным зонам, где контактируют две обстановки, существенно различающиеся какими-либо химическими или физическими параметрами среды и, как следствие, разными условиями миграции химических элементов.

<u>Обязательными условиями существования такого барьера является</u>:

- осуществление переноса через них химических элементов (обычно с потоками поверхностных и подземных вод)
- резкая смена условий, осуществляющаяся на небольшом пространственном промежутке.

Типы концентраций химических элементов на некоторых физико-химических барьерах *(по Перельману А.И., в сокращении*)*

Физ.-хим. условия		*Состав вод, поступающих к геохимическому барьеру*							
ОВ условия		*Кислородные воды*				*Глеевые воды*			
pH		**< 3**	**3 - 6.5**	**6.5 – 8.5**	**> 8.5**	**< 3**	**3 - 6.5**	**6.5 – 8.5**	**> 8.5**
Геохимический барьер	*Кислородный A*	*Fe*	*Fe, Mn, Co*	*Mn*	-	*Fe*	*Fe, Mn, Co*	*Mn, Co*	-
	Сульфидный B	*Cu, Pb*	*Ag, Cu, Zn, Pb*	-	*Cu, Ag, Zn, Mo*	-	-	*Fe, Co, Ni, Cu, Zn*	*Cu, Zn*
	Глеевый C	*Cu, U, Mo*	*Cu, U, Mo*	*Cu, U, Mo*	*Cu, Ag, U, Mo*	-	-	-	-
	Щелочной D	*Ba, Fe, Co, Ni, Cu, Zn*	*Ba, Co, Ni, Cu, Zn, Be*	-	-	-	*Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Cu, Zn*	-	-
	Кислый E	-	-	*Mo*	*Ag, Be, Mo*	-	-	*Mo*	*Be, Mo*
	Испаритель-ный F	*Sr, Cu, Mo*	-	*B, F, Sr, Mo*	-	-	-	-	-
	Сорбционный G	-	*Ba, Zn, Ni, Co, Pb, Cu, Mo*	-	-	-	*Ba, Zn, Ni, Co, Pb, Cu*	-	-

**без сероводородных вод*

Литература

1. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. Учебное пособие, 3-е изд. - М., Астрея-2000, 1999

2. Экогеохимия ландшафтов / Н. С. Касимов . - Москва : Филимонов М. В., 2013.

Задание.

- Ознакомится с основными принципами миграции химических элементов в ландшафтах, основными типами геохимических барьеров.

- Составить кроссворд, используя знания о миграции химических элементов и основные понятия геохимии ландшафтов(идентичные варианты приниматься не будут).