

ГЕОХИМИЯ ПОЧВ

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ

Лектор: Соболева Надежда Петровна, доцент ТПУ

Химический состав почвы – элементный состав минеральной части почвы, а также содержание в ней гумуса, азота, углекислого газа и химически связанной воды.

В состав почвы входят почти все известные химические элементы.

Среднее содержание химических элементов в литосфере и почвах в % по массе (А. П. Виноградов, 1950)

Элементы	Литосфера	Почва	Элементы	Литосфера	Почва
O	47,20	49,00	C	0,10	2,00
Si	27,60	33,00	S	0,09	0,085
Al	8,80	7,13	Mn	0,09	0,085
Fe	5,10	3,80	P	0,08	0,08
Ca	3,60	1,37	N	0,01	0,10
Na	2,64	0,63	Cu	0,01	0,002
K	2,60	1,36	Zn	0,005	0,005
Mg	2,10	0,60	Co	0,003	0,0008
Ti	0,60	0,46	B	0,0003	0,001
H	0,15	?	Mo	0,0003	0,0003

В процессе почвообразования происходят существенные преобразования химического состава исходных почвообразующих пород, связанные с целой серией общих почвенных процессов:

1) переход химических элементов из одних соединений в другие в связи с минеральными преобразованиями;

2) поступление элементов из атмосферы с осадками и импальверизацией;

3) *вынос элементов* нисходящим движением воды в грунтовые воды и далее в гидрографическую сеть, в конечном счете в океан;

4) *привнос элементов* с грунтовыми водами;

5) *циклическое вовлечение элементов* в биологический круговорот веществ.

Поэтому профиль почв всегда дифференцирован в той или иной степени по химическому составу в отличие от исходных однородных почвообразующих пород.

Участие микроэлементов в важнейших почвенных процессах (Ковда, 1973)

Процесс	Почвенное образование	Микроэлементы *
Малый биологический круговорот	Растительный опад свежий и разной степени минерализации (лесная подстилка и степной войлок)	(+): Mo, Zn, Cu, Co, B; (-): Y, Br, Se, Ni, U, Ba, Mn, Sr, V
Синтез гумуса	Гумусовая оболочка	(+): B, I, Mn, Co, Cu; (-): Mo, Zn, Ni, Pb, Br, F
Глинообразование и синтез коллоидов	Почвенный поглощающий комплекс	(+): Mn, Fe, Cu, Co, V; (-): Cr, Ni, Mo, Li, Rb, Ba, Sr, Pb, Zn
	Сорбция коллоидов	(+): Cu, Ni, Pb, Co, Zn; (-): Mn, V, Cr, J, Br, B, Mo
Оподзоливание	—	(-): практически все микроэлементы, возможен (+): Ti, Zr
Осолодение	—	(+): Cu, Ni, Co, V, Cr, Zn, Mo, B
Иллювирирование	—	(+): Sr, Ba, B, частично Cu, Mn
Оглеение	Глеевый горизонт	(±): Mn, Co, Cu
Гидрогенная аккумуляция	Северные луговые почвы	(±): Mn, Cu, Ni, V, Co, B
	Южные луговые почвы	(+): Ba, Sr, B
	Тропические латериты	(±): Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu

* Знак (+) означает накопление элемента; знак (-) — его вынос.

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Понятие о формах нахождения элементов введено в 1921 г. В.И. Вернадским.

Он выделил четыре различных формы нахождения химических элементов в земной коре:

1. Молекулы и их соединения в минералах, горных породах, жидкостях и газообразных земных массах.

2. Нахождение химических элементов в живых организмах; автономные проявления живого вещества.

3. Состояние рассеяния химических элементов.

4. Магмы.

Эта классификация положена в основу современных представлений о геохимии элементов.

Существует и другое выделение форм нахождения элементов в природе, зависящие от конкретных свойств самих элементов.

Так А.И. Перельман выделил *подвижные и инертные формы* нахождения химических элементов в литосфере.

Академик Л.В. Таусон, развивая учение В.И. Вернадского, предложил в общей массе минерального вещества горных пород различать минералы-концентраторы и минералы-носители того или иного элемента.

В настоящее время принято выделять следующие формы нахождения элементов:

1. Минеральная форма:

- макроминеральная
- микроминеральная
- наноминеральная

2. Минералоиды (коллоидные минералы)

3. Кластеры

4. Органические соединения:

- металл-органические
- комплексные типа хелатов и др.
- сорбция физическая

5. Рассеянная (атомарная, ионная)

Химические элементы в почве могут быть:

- 1) в составе минералов;
- 2) в составе органического вещества;
- 3) в форме гидроксидов, оксидов, солей, труднорастворимых карбонатов, сульфидов, сульфатов;
- 4) в составе почвенных коллоидов и др.

В почвах присутствуют следующие **формы тяжелых металлов** и других элементов:

- 1) водорастворимые (например, в почвенном растворе);
- 2) обменные;
- 3) связанные в органические соединения;
- 4) захваченные в оксидах железа и марганца;
- 5) собственные минералы (например, карбонаты, фосфаты и сульфиды тяжелых металлов);
- 6) связанные в структуре силикатов (т.е. в нерастворимом остатке).

МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Миграция химических элементов (migratio – перемещение, лат) – перемещение химических элементов и их соединений под действием различных факторов, что сопровождается их концентрированием или рассеянием.

Факторы миграции (по А.Е. Ферсману):

Внутренние – это свойства химических элементов, определяемые строением атомов, их способность давать летучие или растворимые соединения, осаждаться из растворов и расплавов.

Внешние – это параметры обстановки миграции (Т, Р, Eh, рН и другие свойства растворов, расплавов, аэрозолей, взвесей и т.д.)

Поведение того или иного элемента в конкретных экосистемах биосферы и их почвах определяется комплексом миграционных параметров, связанных:

- 1) с химическими свойствами элемента и его соединений;
- 2) его земным кларком;
- 3) ролью в технобиогеохимических процессах (биофильность, технофильность, геохимическая активность, миграционная способность в растворах);
- 4) соотношением между его биологическим, геологическим и техногенным циклами.

Миграция элементов осуществляется в миграционных потоках

Гравитационный поток

(движение масс вещества по склону под влиянием силы тяжести)

Эоловый поток

(движение воздушных масс)

Водный поток

(движение воды в поверхностных, внутрипочвенных, подземных и речных потоках)

Биологический циклический поток

(потребление элементов питания организмами и возвращение их в среду)

Биогенный поток

(перемещение организмов по территории)

Антропогенный (техногенный) поток

(перемещение больших масс веществ человеком в его хозяйственной и биологической деятельности)

Баланс элемента в экосистеме может быть как *положительным* (прогрессивная аккумуляция, абсолютная или относительная, остаточная), так и *отрицательным* (прогрессивный вынос).

Педогеохимическая подвижность главных продуктов почвообразования (В. А. Ковда, 1973)

Группа подвижности	Степень подвижности	Химические соединения	Относительная подвижность
I	Очень высокая	Нитраты, хлориды, иодиды, бромиды, сульфаты, карбонаты, бораты, силикаты, фосфаты щелочей и частично щелочноземельных металлов	100
II	Высокая	Гипс, карбонаты кальция и магния, гуматы и алюминаты щелочей, железные и алюминиевые квасцы	10-50
III	Умеренная	Гидрокарбонаты, фульваты и фосфаты марганца и железа, гидрозоли кремнезема и гумуса	0,5-1,0
IV	Низкая	Гидроксиды алюминия, железа, марганца, гуматы тяжелых металлов	0,1-0,001
V	Ничтожная	Кварц, рутил, циркон, гранат, глинистые минералы, сульфиды	< 0,001

При промывном или периодически промывном водном режиме продукты выветривания и почвообразования уходят за пределы почвенного профиля в грунтовые воды и перемещаются в общем нисходящем грунтовом потоке. За счет этого все грунтовые воды в той или иной степени минерализованы.

Минерализация грунтовых вод постепенно возрастает в направлении их движения по мере удаления от источника питания.

Педохимическая классификация почвенно-грунтовых вод (В.А. Ковда, 1973)

Тип вод	Минерализация, г/л	Преобладающие компоненты
Ультрапресные фульватножелезистые	0,01–0,3	Фульвокислоты, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Al^{3+}
Ультрапресные кремнеземистые	0,3–0,5	Подвижный SiO_2, гидрокарбонаты Ca и Mg
Щелочные (содовые)	0,5–3	Гидрокарбонаты и карбонаты Na, подвижный SiO_2
Опресненные гипсовые нейтральные	0,5–3	Гипс и гидрокарбонат Ca
Слабоминерализованные щелочные	3–7	Гидрокарбонаты и сульфаты Na, иногда хлориды
Минерализованные сульфатные	5–15	Сульфаты Na, Mg и Ca, примесь хлоридов
Сильноминерализованные хлоридные	20–50	Хлориды Na и Mg, сульфаты Mg
Рассолы	70–200	Хлориды Mg и Ca
Крепкие рассолы	300–600	Сульфаты Mg, хлориды

КРУГОВОРОТЫ ВЕЩЕСТВА В ПОЧВЕ

На ход химических процессов в почве и формирование ее химического состава оказывает влияние

- **большой геологический и**
- **малый биологический круговороты вещества в природе.**

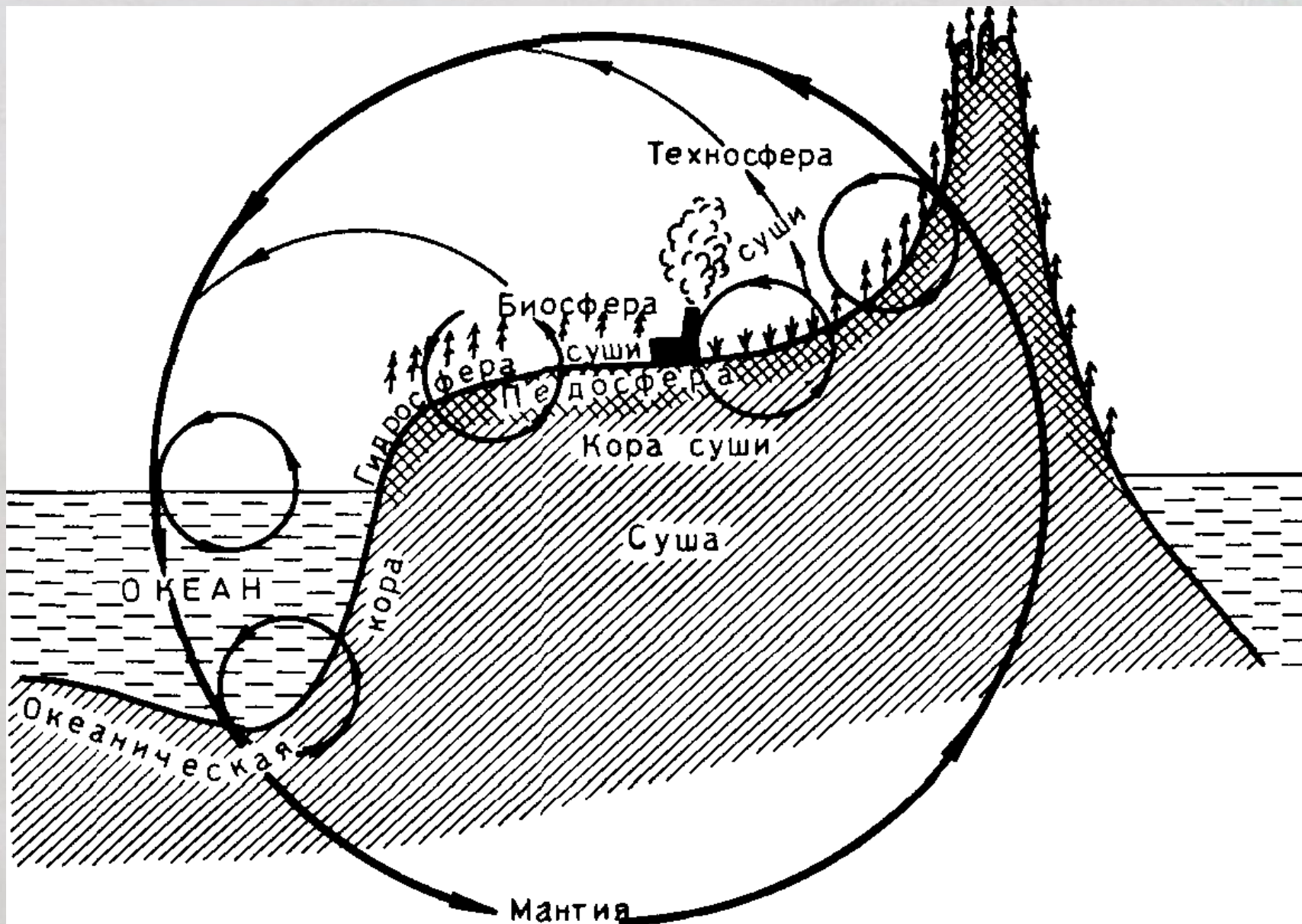
Большой геологический круговорот – геохимический процесс миграции химических элементов от выветривающихся на суше горных пород к осадочным отложениям моря, которые в дальнейшем вновь подвергаются выветриванию.

В процессе геологического круговорота в миграцию вовлекаются химические элементы почвы с различной миграционной способностью.

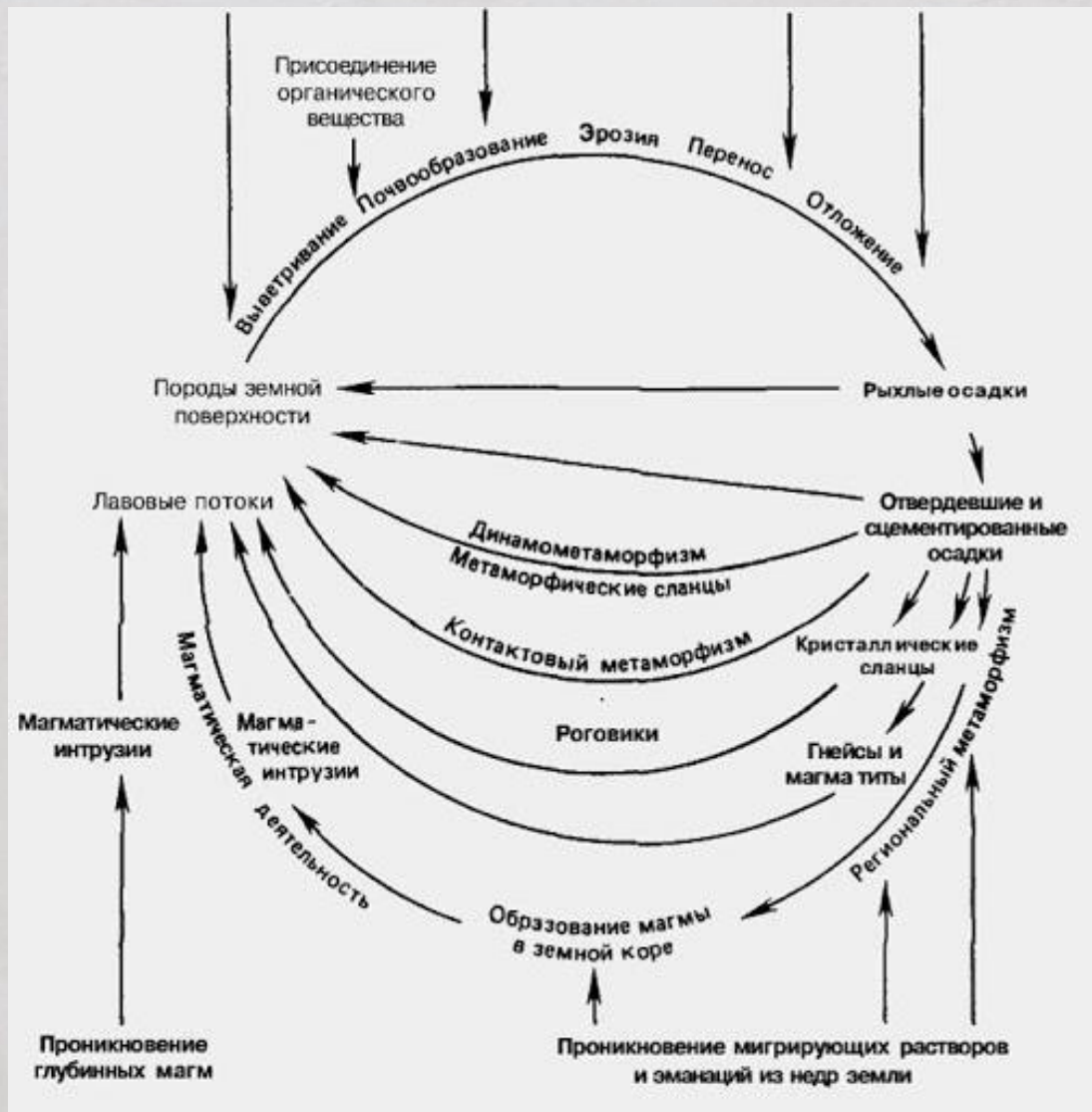
Основным источником поступления элементов в почву являются почвообразующие породы.

Определенное влияние на состав почвы оказывают и грунтовые воды.

Общая схема большого геологического круговорота веществ



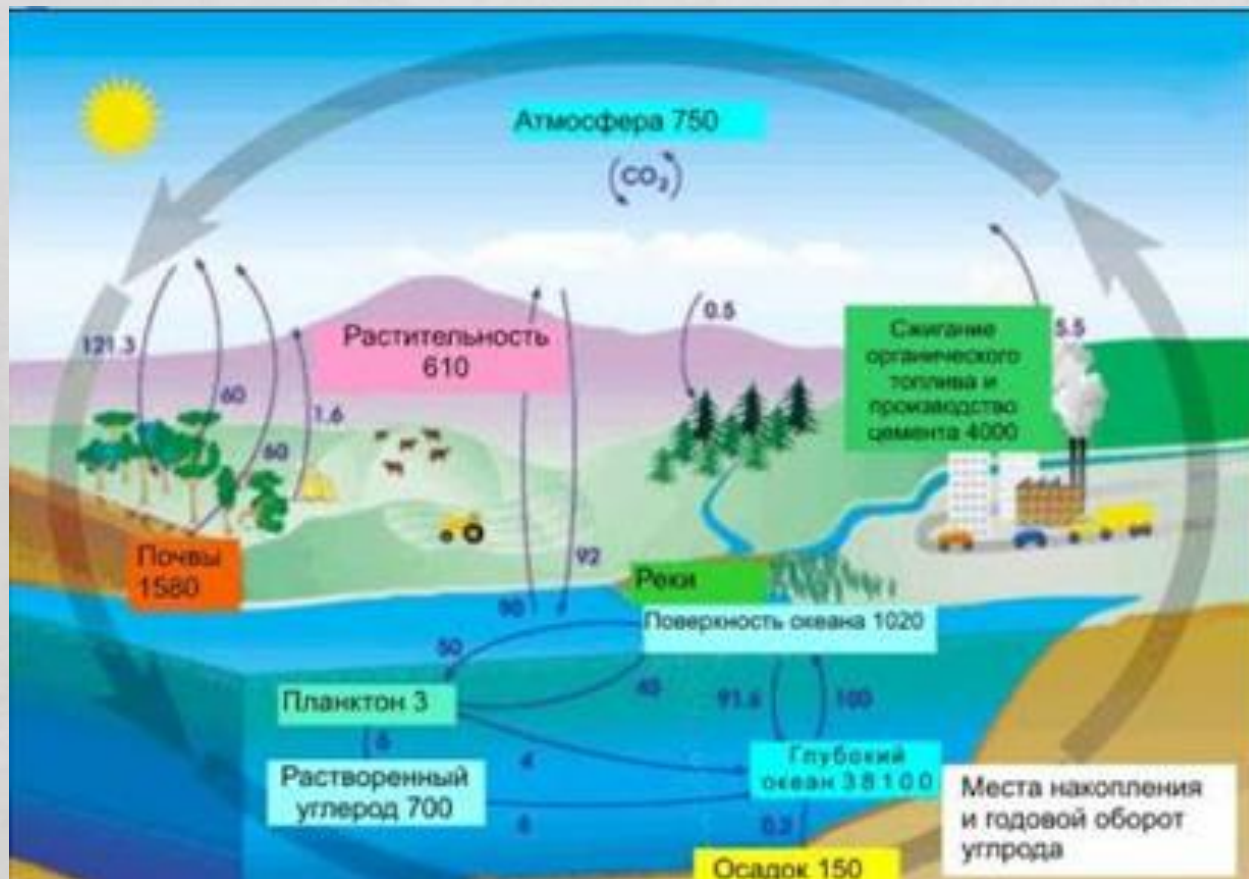
Большой геологический круговорот веществ складывается из комплекса элементарных циклов



Большой геологический круговорот веществ (А. Холмс, 1965)

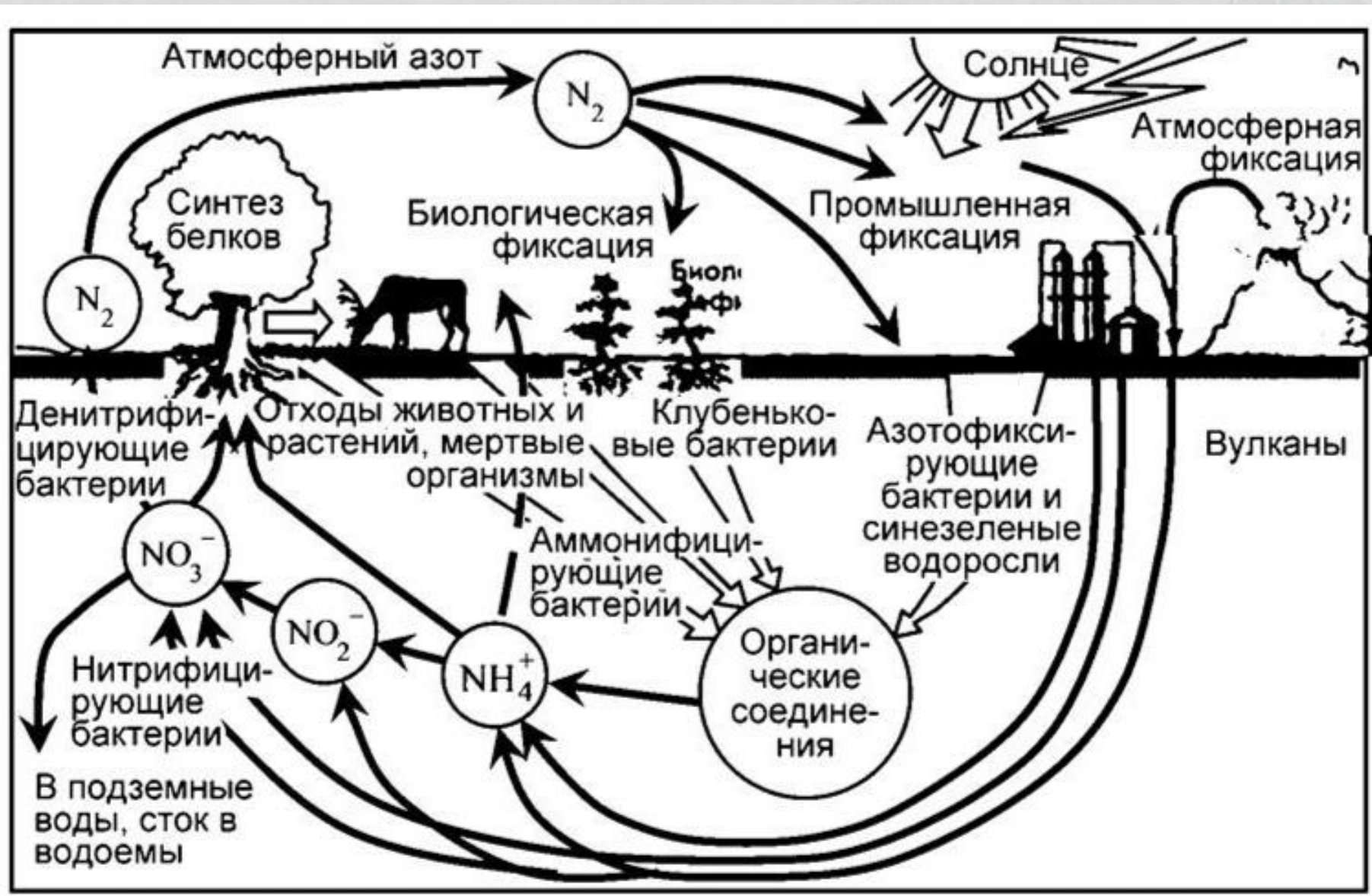
Геохимический цикл – совокупность последовательно происходящих геохимических процессов, в которых элементы после ряда миграций возвращаются в исходное состояние.

Впервые термин «Геохимический цикл» был предложен в 1922 г. А.Е. Ферсманом.

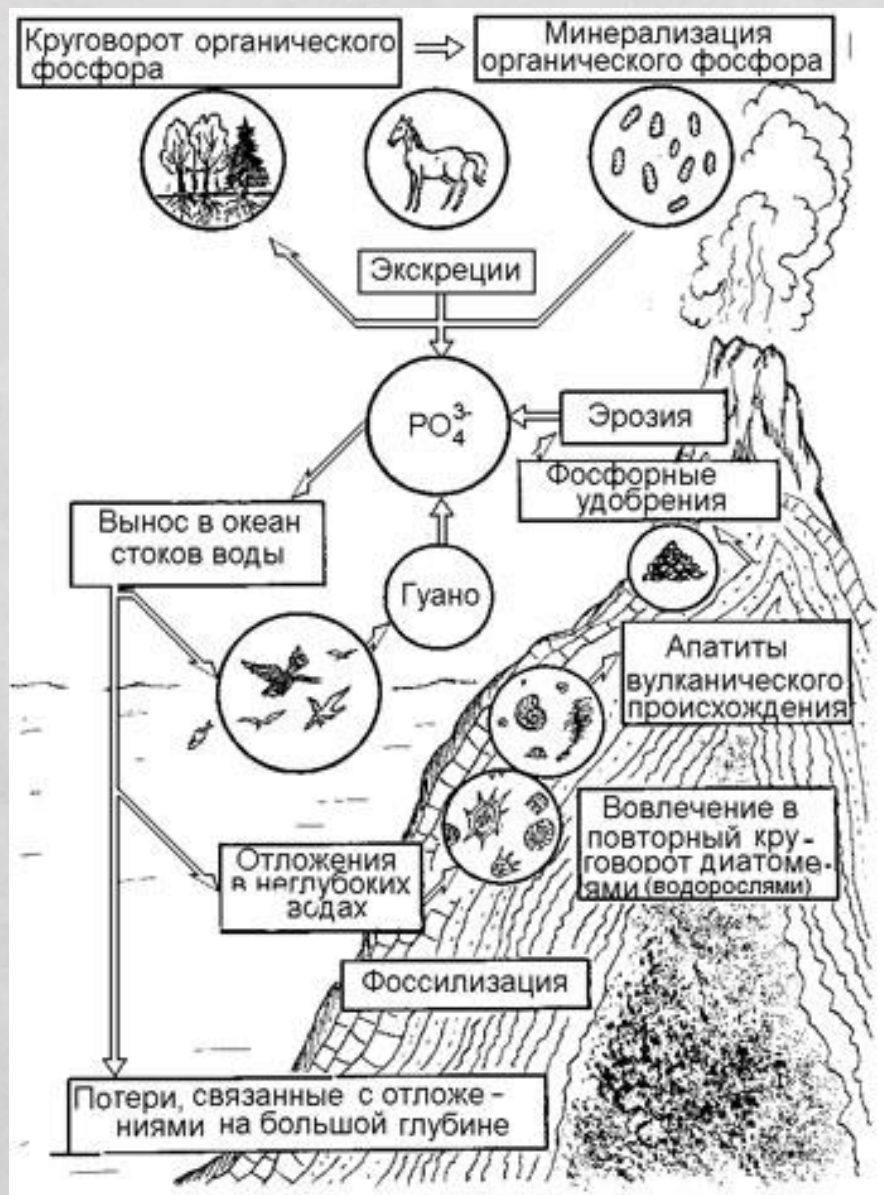


Геохимический цикл углерода.
Величины в г/т

Геохимический цикл азота

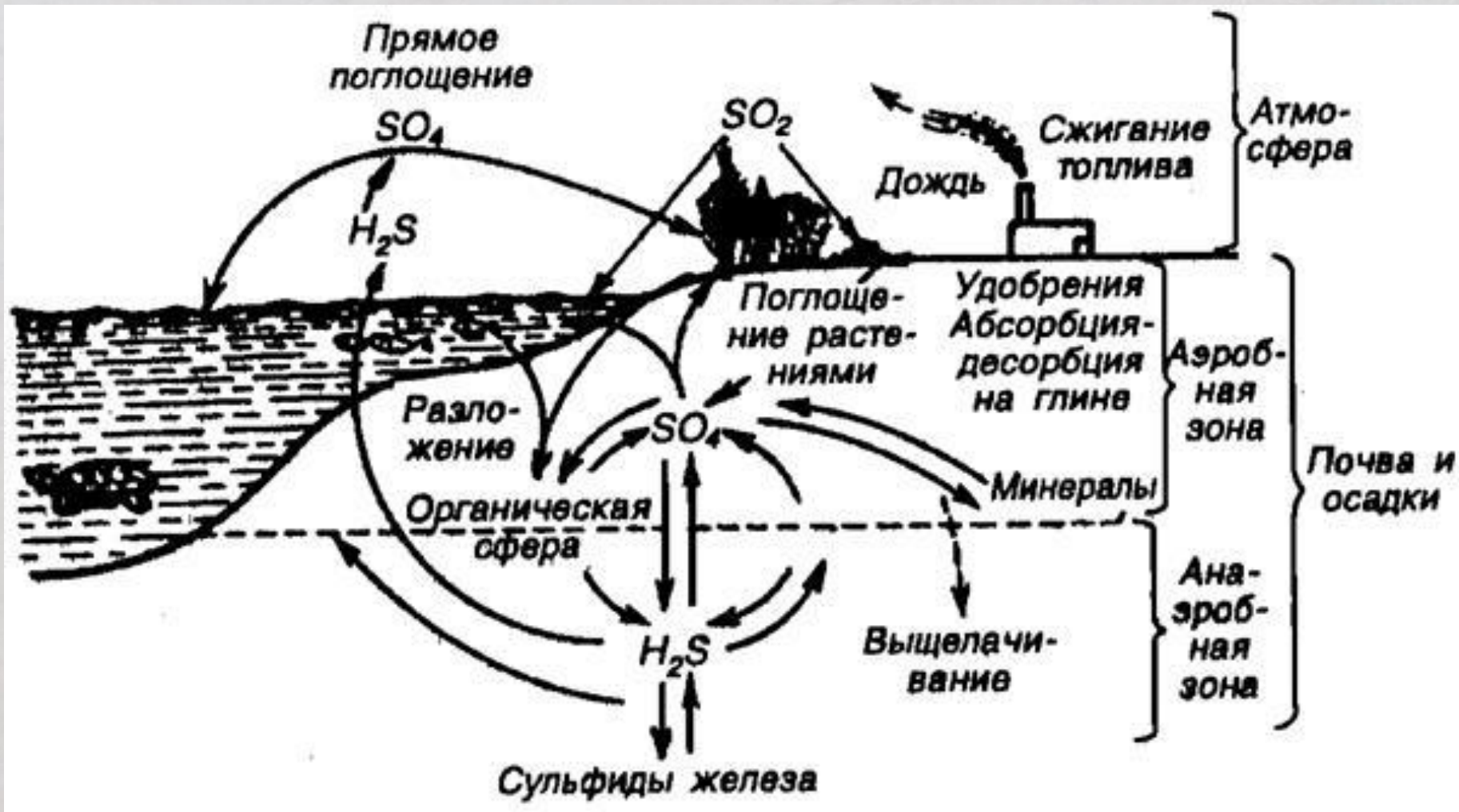


Геохимический цикл фосфора



Круговорот фосфора (по П. Дювиньо и М. Тангу)

Геохимический цикл серы



Сущность *малого биологического круговорота* заключается в том, что растения через тот или иной промежуток времени возвращают в почву извлеченные из нее элементы, но уже в форме других соединений и в другие почвенные слои, т.е. происходит *миграция* химических элементов *в системе почва-растение-почва*.

Полный цикл биологического круговорота элементов на суше складывается из следующих составляющих (Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич, 1965):

1. Поглощение растениями из атмосферы углерода, а из почвы – азота, зольных элементов и воды, закрепление их в телах растительных организмов, поступление в почву с отмершими растениями или их частями, разложение опада и высвобождение заключенных в них элементов.

2. Поедание частей растений питающимися ими животными, превращение их в телах животных в новые органические соединения и закрепление части из них в животных организмах, последующее поступление их в почву с экскрементами животных или с их трупами, разложение и тех и других и высвобождение заключенных в них элементов.
3. Газообмен между растениями и атмосферой (в том числе, почвенным воздухом).
4. Прижизненные выделения надземными органами растений и их корневыми системами некоторых элементов непосредственно в почву.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРОФИЛЮ ПОЧВЫ

Миграция вещества в каскадных системах подчиняется определенным закономерностям, а аккумуляция веществ в той или иной их части регулируется действием *геохимических барьеров*, что в конечном итоге за длительное геологическое время приводит к общей геохимической дифференциации суши земного шара.

Геохимические барьеры

```
graph TD; A[Геохимические барьеры] --> B[Механические]; A --> C[Биогеохимические]; A --> D[Физико-химические];
```

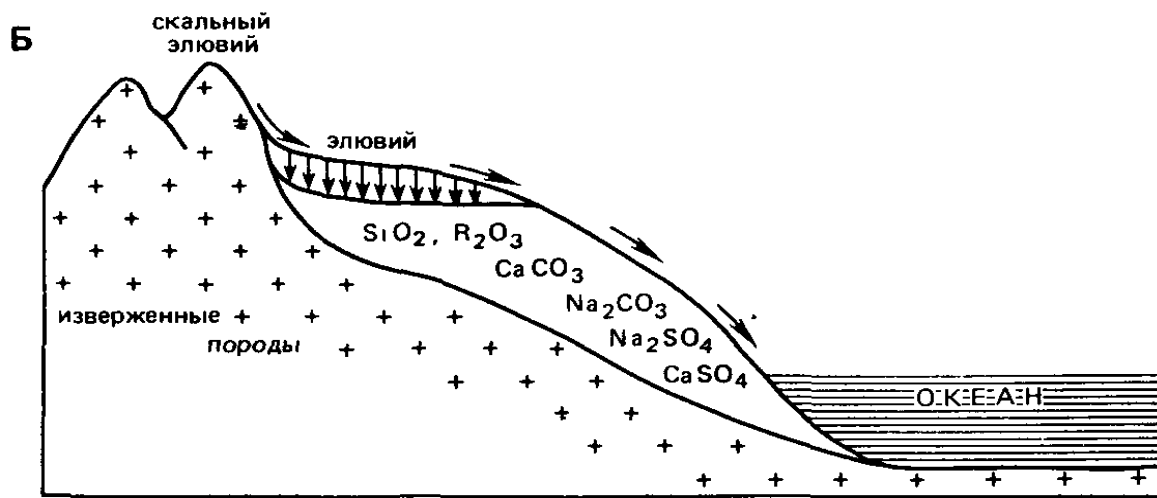
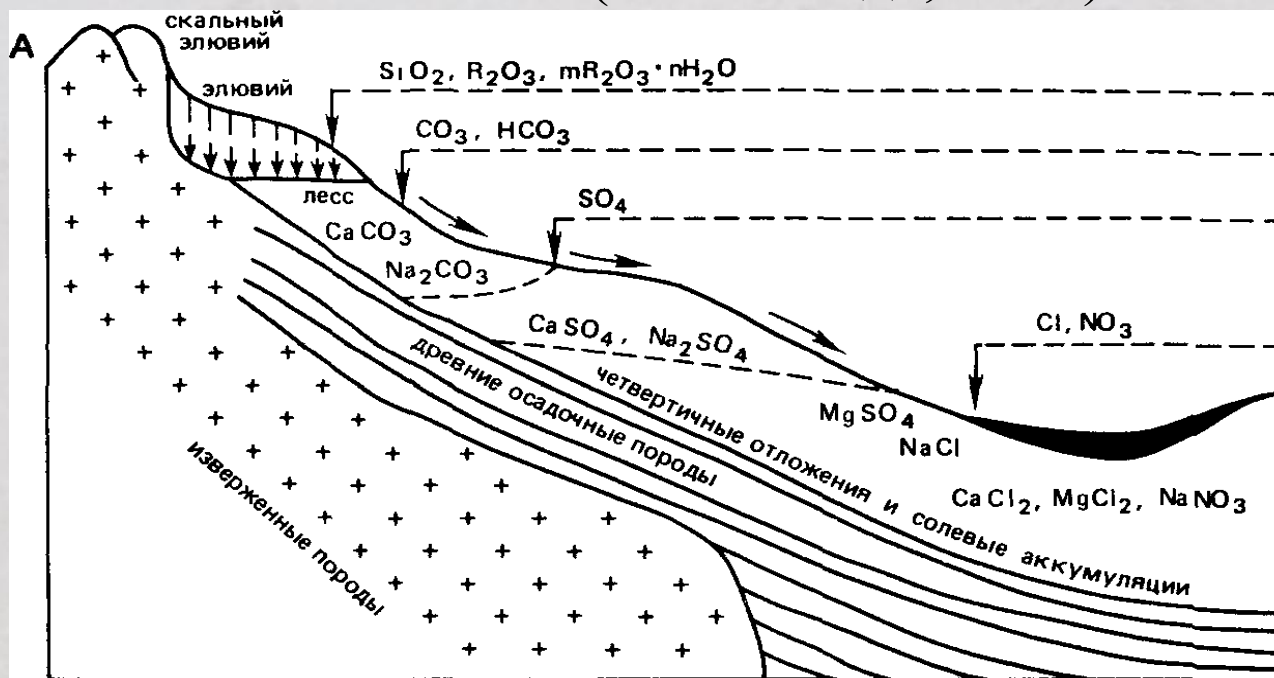
Механические

Биогеохимические

Физико-химические

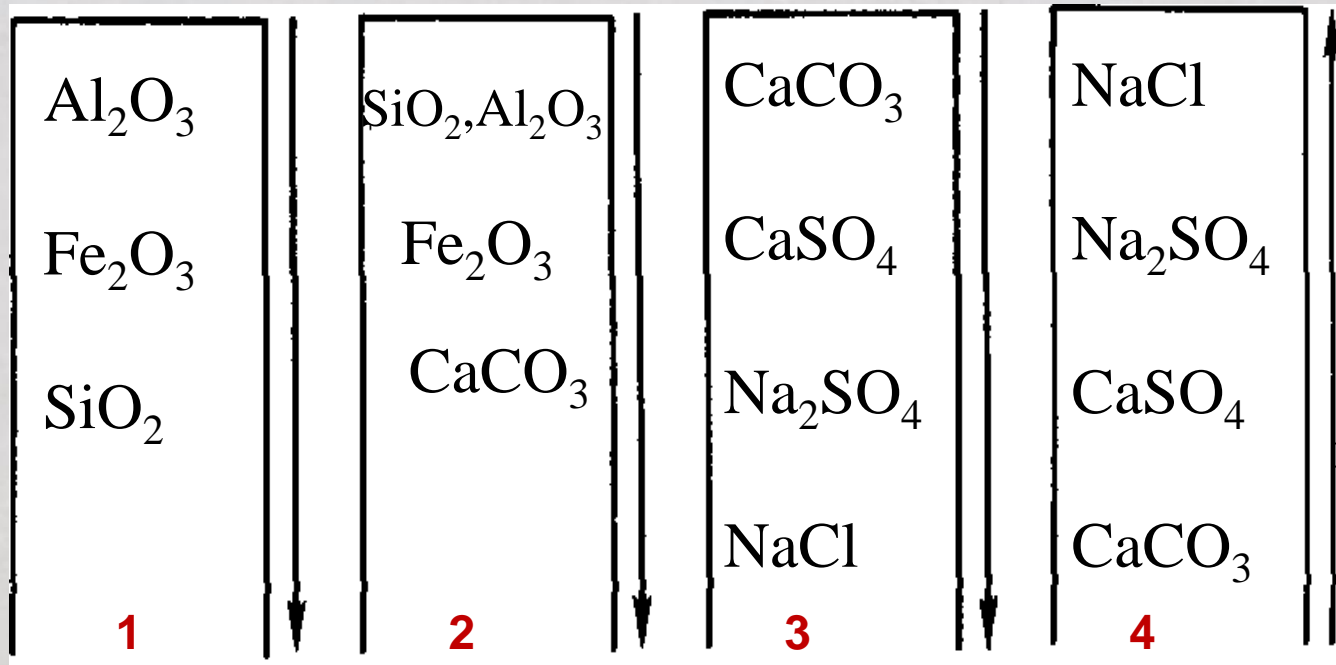
С геохимических позиций барьеры делят на *природные и техногенные.*

Схема дифференциации и ареалов аккумуляции соединений в почвах бессточной части (А) и дренированной части (Б) континента (В. А. Ковда, 1973)



- **В области выноса** формируются *автономные* (автоморфные, элювиальные) *геохимически независимые ландшафты*, характеризующиеся выносом наиболее растворимых и подвижных соединений и остаточной аккумуляцией SiO_2 , R_2O_3 .
- **В области транзита** формируются *геохимически подчиненные транзитные ландшафты*, в которых частично аккумулируются некоторые соединения (карбонаты и сульфаты кальция, соединения железа и кремния), а наиболее растворимые и подвижные продукты выносятся.
- **В поясе аккумуляции** формируются *геохимически подчиненные аккумулятивные ландшафты*, для которых характерно накопление наиболее подвижных продуктов выветривания и почвообразования, прежде всего водорастворимых солей.

Существенное значение для почвообразования имеют и вертикальные миграционные потоки, формирующие геохимический фон конкретных почвенных профилей разных типов.



Вертикальная геохимическая дифференциация почвенного профиля при элювиальном ферраллитном почвообразовании (1), при элювиальном кислом сиаллитном почвообразовании (2), при прогрессивном расслоении (3), при прогрессивном засолении (4).

ГЕОХИМИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ

- **Кремний.** Содержание определяется, главным образом, присутствием в почве кварца и в меньшей мере первичных и вторичных силикатов и алюмосиликатов. Валовое содержание SiO_2 в почве колеблется от **40-70%** в глинистых почвах, до **90-98%** в песчаных, тогда как в ферраллитных почвах тропиков может быть и много ниже.
- **Алюминий.** Содержание алюминия в почвах обусловлено присутствием полевых шпатов и глинистых минералов и отчасти некоторых других богатых алюминием первичных минералов, например слюд, эпидотов, граната, корунда. Валовое содержание Al_2O_3 в почвах обычно колеблется от **1-2** до **15-20%**, а в ферраллитных почвах тропиков и бокситах может превысить **40%**.

- **Железо.** Присутствует в почвах в составе как первичных, так и вторичных минералов, являясь компонентом магнетита, гематита, титаномагнетита, глауконита, роговых обманок, пироксенов, биотита, хлоритов, глинистых минералов, минералов группы оксидов железа.

Общее содержание в почве Fe_2O_3 колеблется в очень широких пределах (в %): от **0,5-1,0** в кварцево-песчаных почвах и **3-5** в почвах на лессах, до **8-10** в почвах на элювии плотных ферромагнезиальных пород и до **20-50** в ферраллитных почвах и латеритах тропиков. В почвах также часто наблюдаются железистые конкреции и прослой.

- **Кальций.** Содержание CaO в бескарбонатных суглинистых почвах составляет 1-3% и определяется присутствием глинистых минералов тонкодисперсных фракций, а также гумусом и органическими остатками, в связи с чем наблюдается тенденция к биогенному обогащению кальцием верхней органоаккумулятивной части профиля.

*В почвах сухостепной и аридной зон **повышенное** валовое **содержание** кальция может быть обусловлено образованием и накоплением вторичного кальцита или гипса в процессе почвообразования. Много кальция может накопиться в почве гидрогенным путем, вплоть до образования известковых или гипсовых кор.*

- **Магний.** Валовое **содержание** MgO в почве обычно близко к содержанию CaO и обусловлено **присутствием глинистых минералов**, особенно монтмориллонита, вермикулита, хлорита. В крупной фракции магний содержится в обломках доломитов, оливине, роговых обманках, пироксенах; в почвах аридной зоны много магния аккумулируется при засолении почв в виде хлоридов и сульфатов.
- **Калий.** **Содержание** K₂O составляет в почвах **2-3%**. Присутствует калий чаще в **глинистых минералах** тонкодисперсных фракций, особенно в гидрослюдах, а также в составе таких первичных минералов крупной фракции, как биотит, мусковит, калиевые полевые шпаты.

- **Натрий.** Валовое содержание в почве Na_2O обычно около **1-3%**. В почве **присутствует в составе первичных минералов**, преимущественно в натрийсодержащих полевых шпатах.
- Содержание Na_2O в отдельных составляющих **крупной фракции** может достигать **5-6%**, тогда как в **илистой фракции** не превышает **0,5-1%**. В засоленных почвах сухостепной и аридных зон в значительных количествах может присутствовать в виде хлоридов или входить в поглощающий комплекс почв, в связи с чем содержание Na_2O в этом случае возрастает до нескольких процентов.

- **Титан.** Содержание в почве TiO_2 обычно **не превышает нескольких десятых процента**. Присутствует этот элемент в почве в составе первичных устойчивых к выветриванию титансодержащих минералов (ильменита, рутила, сфена), в связи с чем при выветривании наблюдается его относительное накопление, в некоторых случаях наблюдается заметное накопление титана (до 1%) в составе илистой фракции.
- **Марганец.** Содержание MnO составляет в почве лишь **несколько десятых или даже сотых долей процента** и обусловлено присутствием марганцовистых конкреций, образовавшихся в результате микробиологической деятельности. В рассеянном виде марганец может **входить в состав некоторых первичных минералов** (оливинов, пироксенов, эпидота).

- **Сера.** Содержание SO_3 в почве обычно **не превышает нескольких десятых процента**. Присутствует сера в почве в составе различных органических соединений как растительного, так и животного происхождения; в засоленных почвах при наличии значительных количеств сульфатов валовое содержание SO_3 может возрасти до нескольких процентов.
- **Углерод.** В почве содержится в составе гумуса, а также органических остатков. Много углерода может находиться в составе карбонатов. Содержание углерода в почве колеблется **от долей процента** в бедных органическим веществом песчаных почвах, до **3-5 и даже 10%** в богатых гумусом черноземах (в торфянистых и торфяных горизонтах до десятков процентов).

- **Азот.** Так же, как и углерод, почти целиком **связан** в почве **с ее органической частью** - гумусом - и **составляет 1/10-1/20 от содержания углерода**. Несмотря на небольшое количество (не более 0,3-0,4, часто 0,1 и менее процента), азот играет чрезвычайно важную роль в плодородии почв, так как жизненно необходим растениям.
- **Фосфор.** Присутствует в почве в очень незначительных количествах: валовое **содержание** P_2O_5 составляет **не более 0,1 - 0,2%**. Фосфор жизненно важен для растений, но в большинстве почв, особенно песчаных, находится в резком дефиците.

В почве фосфор присутствует в составе гумуса, органических остатков, в минеральной части почв в составе апатита, вторичного болотного минерала - вивианита.

- **Микроэлементы** (бор, медь, молибден и др.) имеют большое значение в жизни растений. Они входят в состав многих витаминов, ферментов и других биологически активных веществ.