



Общая геохимия

Лекция 13

Прикладная геохимия. **Вторичные ореолы**

- Часть земной коры, образующая сушу, во все периоды геологической истории Земли являлась ареной действия двух взаимосвязанных процессов выветривания и денудации.
- Формируя гипергенное поле рассеяния месторождений полезных ископаемых, эти процессы определяют развитие **вторичных геохимических ореолов и потоков рассеяния рудных месторождений** – важнейших для практики поисков.

- Из 510 млн. км² поверхности земного шара современная суша занимает 29% или 149 млн. км². Только 0.8 млн. км² земной поверхности лежит ниже уровня Мирового океана. Средняя высота суши составляет 875 м с чередованием низменностей, плоскогорий и высоких горных хребтов.
- Рельеф земной поверхности непрерывно преобразуется.
- Процесс всеобщего выравнивания (нивелировки) земной поверхности, развивающийся в ряде случаев через усложнение рельефа, подчинен земному тяготению. Направляющей силой является энергия солнечного излучения.

- На поверхность суши ежегодно выпадает в виде атмосферных осадков больше влаги, чем расходуется на испарение. Этот избыток (около 36 млн. км³) образует речной сток с суши. Сток атмосферных осадков ведет к денудации суши вследствие растворяющей деятельности воды и перемещения ею частиц горных пород в сторону понижения рельефа.
- Переносимое реками в виде тончайшей взвеси и влекомых по дну наносов составляет **«твердый сток»**. В год реки переносят 17 млрд.т, ветер – 1.1 млрд.т, ледники – 1.9 млрд.т. Ежегодный слой денудации для суши – 0.1 мм/год.

Вторичный ореол рассеяния

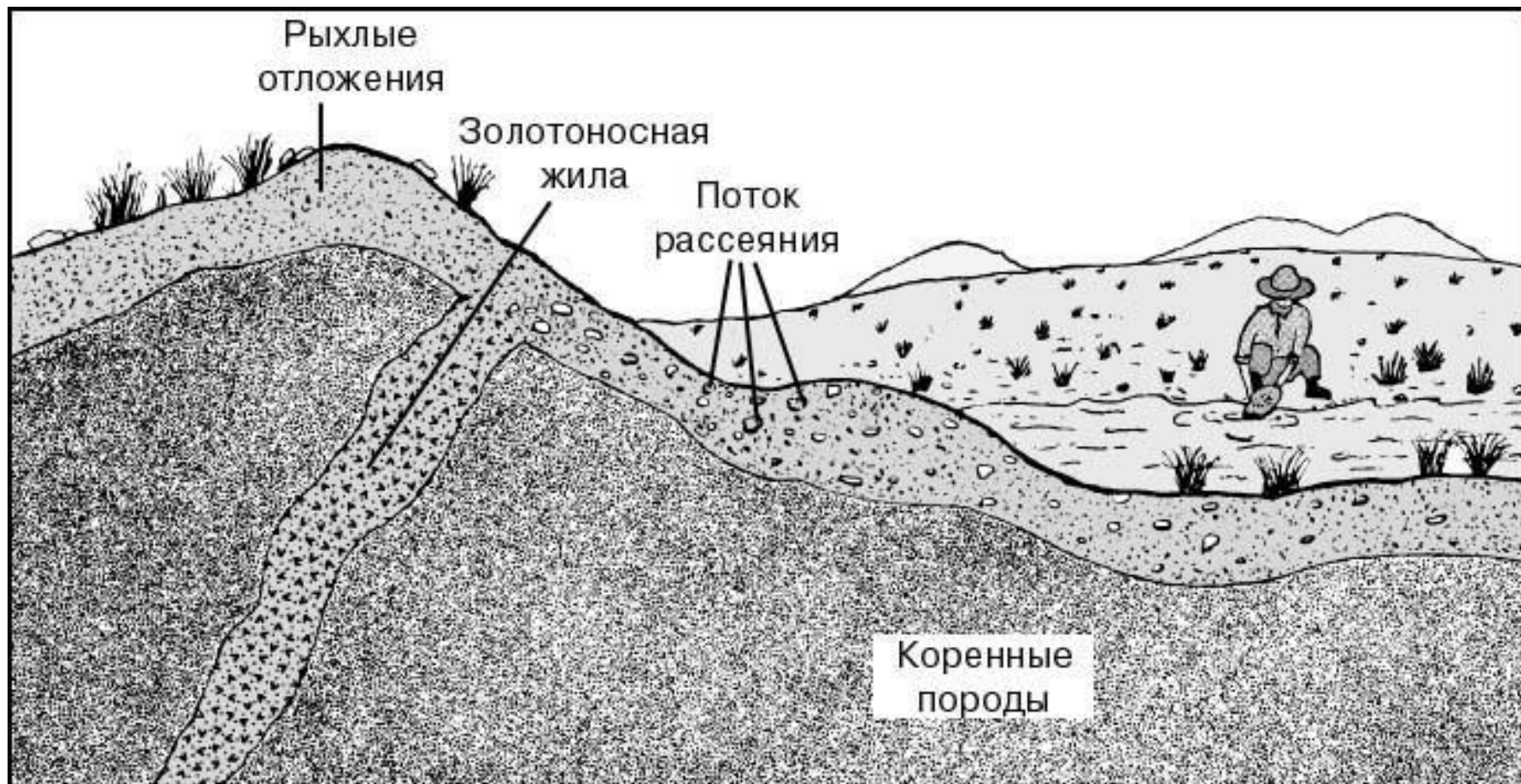
- Зона повышенных концентраций тех или иных элементов, образующихся в результате воздействия на месторождение полезных ископаемых экзогенных (гипергенных) процессов.
- Гипергенный аналог развитых в коренных породах геохимических аномалий.
- По среде проявления различают вторичные ореолы в почвах и породах – **литохимические**; водах – **гидрогеохимические**; атмосфере – **атмохимические** и организмах – **биогеохимические**.
- По фазовому состоянию минеральных, компонентов ореолы вторичные разделяются на **механические** и **солевые**.

- **Солевые ореолы** могут проявляться в твердой и жидкой фазах. В последнем случае они будут представлять собой водный или гидрогеохимический ореол рассеяния. Характерны для месторождений, содержащих сравнительно легко окисляемые минералы в зоне выветривания (например, сульфидные, урановые месторождения).
- **Механические ореолы** характерны для месторождений, содержащих минералы, устойчивые в зоне выветривания (например, Au, Pt, касситерит, вольфрамит, шеелит, магнетит и др.).

- По способу образования и форме различают собственно **вторичные ореолы и потоки рассеяния (ореолы рассеяния в аллювии)**.
- **Поток рассеяния** — область повышенного содержания элементов залежи, возникающая на путях твердого, жидкого или газообразного стока с суши, характеризуемая дальнейшим убыванием аномальных содержаний ценных и сопутствующих компонентов залежи.
- Характерна линейность (превышение длины над шириной и мощностью).

- Преобладание литохимических форм рассеяния рудных элементов и подчиненная роль гидрохимических процессов особенно отчетливо проявлена при формировании потоков рассеяния большинства рудных месторождений и в большинстве районов.
- Распределение химических элементов между растворимой и твердой фазой стока характеризуют коэффициенты их водной миграции и талассофильности. Кроме O и H кларки океанической воды превышают кларки литосферы только для трех элементов – Cl, S и Br. Все остальные элементы накапливаются в продуктах твердого стока.

Золотоносная жила, выходящая на поверхность, подвергается выветриванию, возникают **ПОТОКИ рассеяния**, которые переносятся вниз по склону



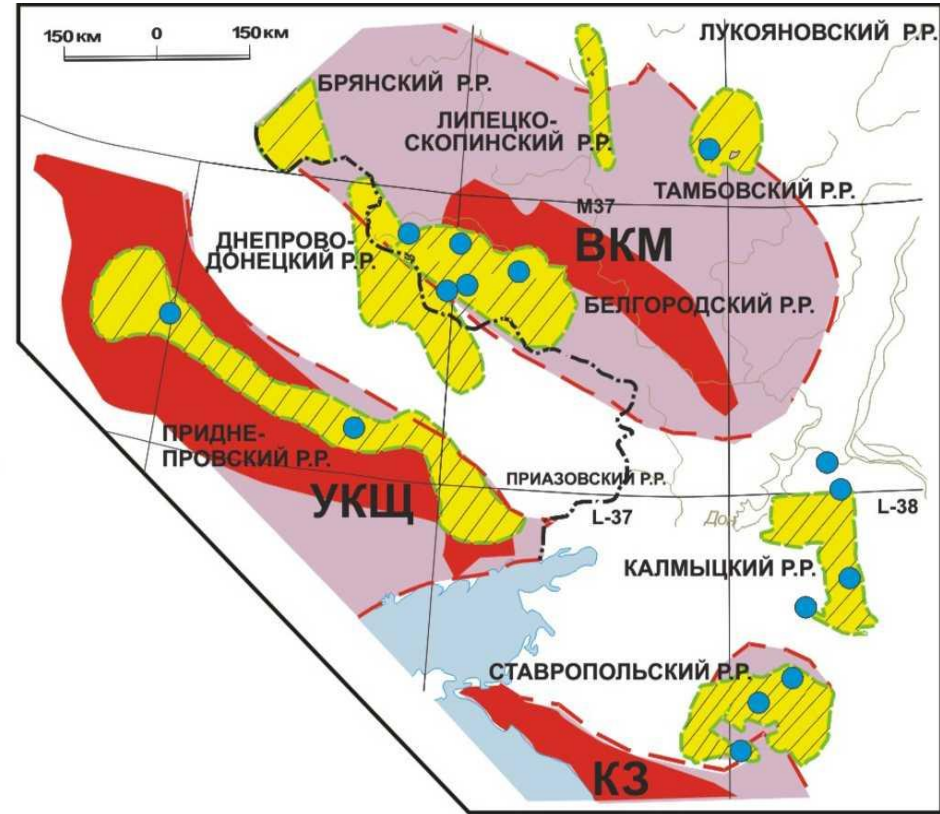
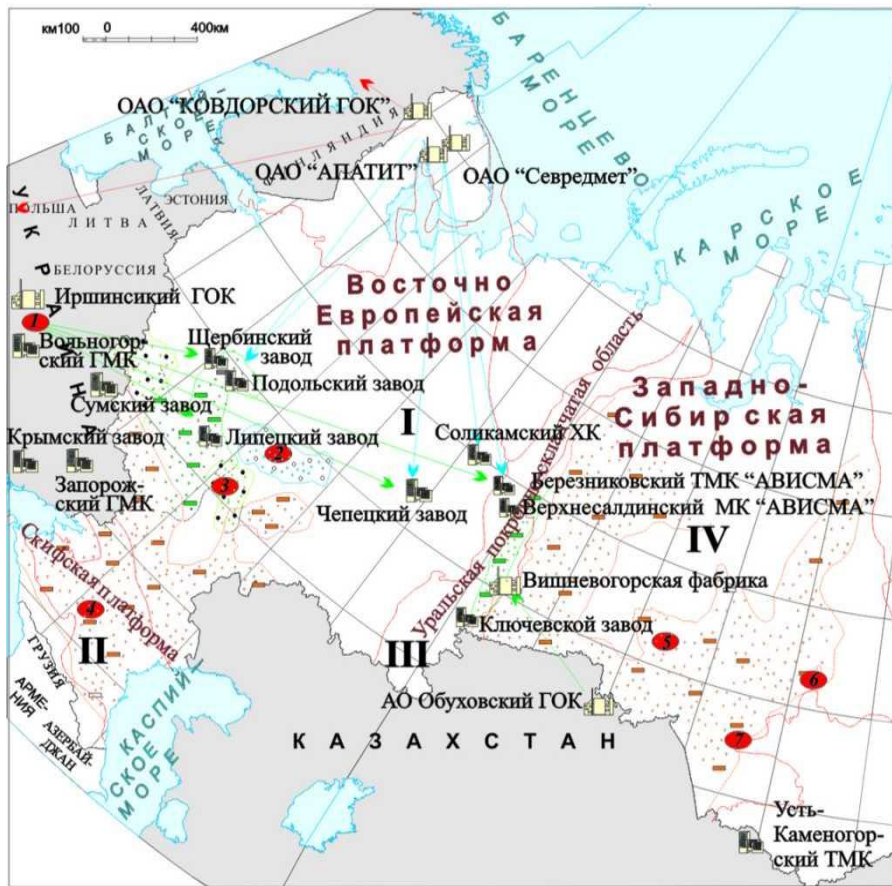
ШЛИХОВЫЕ ОРЕОЛЫ - вторичные ореолы рассеяния, представленные преимущественно высвобожденными зернами шлиховых минералов с преобладающим размером несколько и десятые доли миллиметра. Выявляются в процессе шлиховой съемки (старейший метод исследования механических потоков рассеяния) и служат прямым поисковым признаком россыпных и коренных месторождений. Разновидностью шлихового ореола является **шлиховой поток**, образовавшийся в результате разноса шлиховых минералов водным потоком по долине.

- **Россыпи** - скопление обломочного материала горных пород, содержащего в виде обломков, агрегатов, зёрен ценные минералы.
- Представляют собой особую группу месторождений полезных ископаемых. Россыпи образуются в результате разрушения коренных горных пород и их переотложения под влиянием различных экзогенных процессов (напр., аллювия).
- По отношению к источнику образования и условиям образования различают: россыпи ближнего сноса; россыпи дальнего переноса; россыпи переотложения.
- Ежегодно за рубежом из россыпей добывают около 90% Au, 90% Zr и Nb, 80% REE, 70% Ti и Sn, 65% алмазов, 60% Ta.

Единственный в мире
зеленый пляж Green
Sand beach на гавайском
острове Кауи



Ti-Zr россыпи



Шлиховые ореолы рассеяния



50 лет спустя...

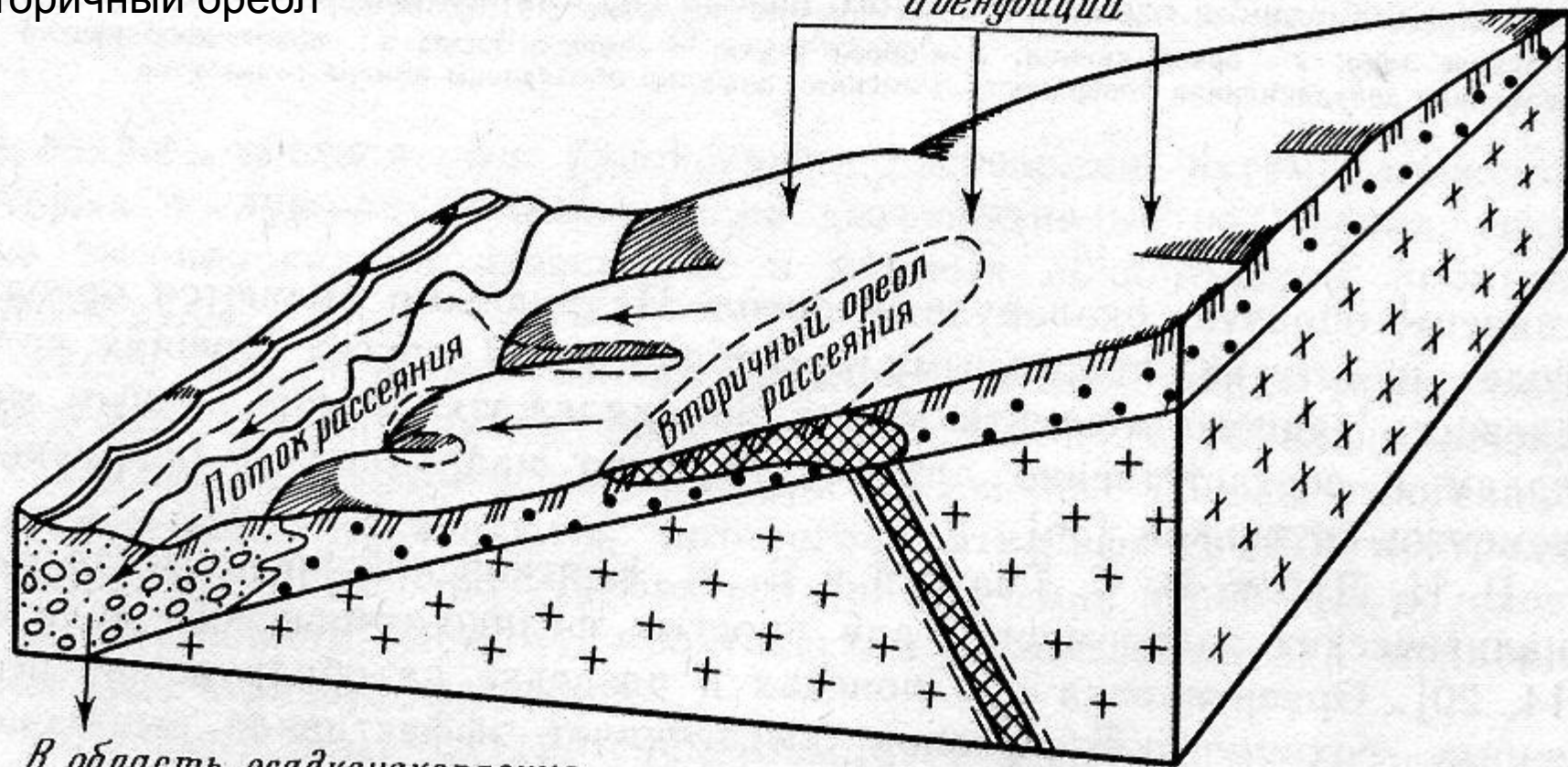


Таблица 7.7. Ассоциация минералов в шлихах

Промышленные минералы	Характерные минералы-спутники	Коренные породы
Золото	Пирит, галенит, сфалерит, платина, шпинель, циркон, монацит, иногда шеелит	Кварцевые жилы, метаморфические породы, конгломераты
Платина	Магнетит, ильменит, хромит, оливин, пикотит, золото, циркон	Основные и ультраосновные породы или их измененные разновидности
Алмаз	Хромит, пироп, хромдиопсид, ильменит, перовскит, золото, платина, циркон, рутил и его полиморфные разновидности, реже топаз	Кимберлиты, ультраосновные породы, кристаллические сланцы, конгломераты
Касситерит	Топаз, турмалин, флюорит, пирит, арсенопирит, сфалерит, молибденит, шеелит, вольфрамит, касситерит	Граниты, пегматиты, грейзены, различные жилы
Колумбит-танталит	Касситерит, берилл, турмалин, сподумен, лепидолит, самарскит, рутил, реже циркон, вольфрамит	Граниты, пегматиты
Вольфрамит	Касситерит, шеелит, пирит, молибденит, галенит, топаз, турмалин, флюорит, колумбит, танталит	Граниты, пегматиты, кварцевые жилы, скарны
Шеелит	Турмалин, касситерит, топаз, молибденит, золото, халькопирит, везувиан, флюорит, гематит	Скарны, пегматитовые и кварцевые жилы

Литохимический
вторичный ореол

Агенты выветривания
и денудации



В область осадконакопления

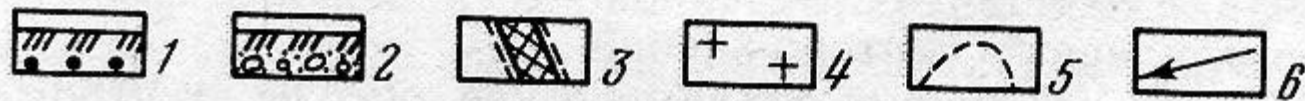


Рис. 13. Блок-диаграмма гипергенного поля рассеяния:

1 — элювиоделувий; 2 — аллювий; 3 — рудное тело и его первичный ореол; 4 — рудовмещающие породы; 5 — контур аномальных содержаний рудных элементов в продуктах выветривания, в речной воде и в растительности; 6 — направление стока

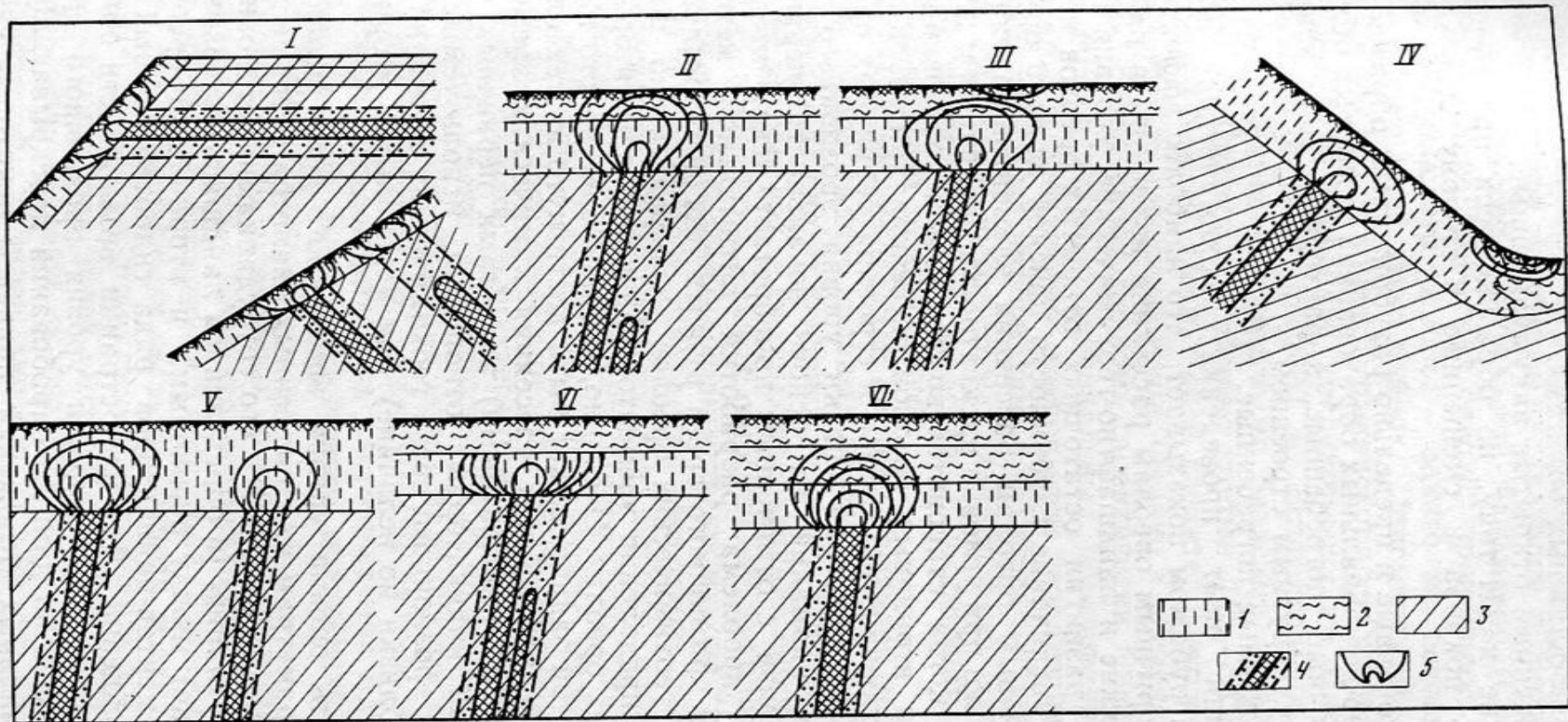


Рис. 38. Различные типы вторичных ореолов рассеяния химических элементов (по А. П. Соловову)

1 — современный элювио-делювий или древняя кора выветривания рудовмещающих коренных пород; 2 — перекрывающие отложения; 3 — коренные рудовмещающие породы; 4 — рудные тела и их первичные ореолы; 5 — вторичные ореолы рассеяния элементов-индикаторов

Вторичные ореолы по разному фазовому состоянию

Рис. 45. Особенности первичных и вторичных мультипликативных ореолов в разрезе

1 — гранодиориты; 2 — альбитизированные породы; 3 — рыхлые аллохтонные отложения; 4 — почвы; 5 — буровые скважины; 6, 7 — мультипликативные ореолы в коренных породах (7 — поля повышенных значений); 8, 9 — графики мультипликативных содержаний в солевой корочке (8) и почвах (9)

Чехол над первичным ореолом до 15 м

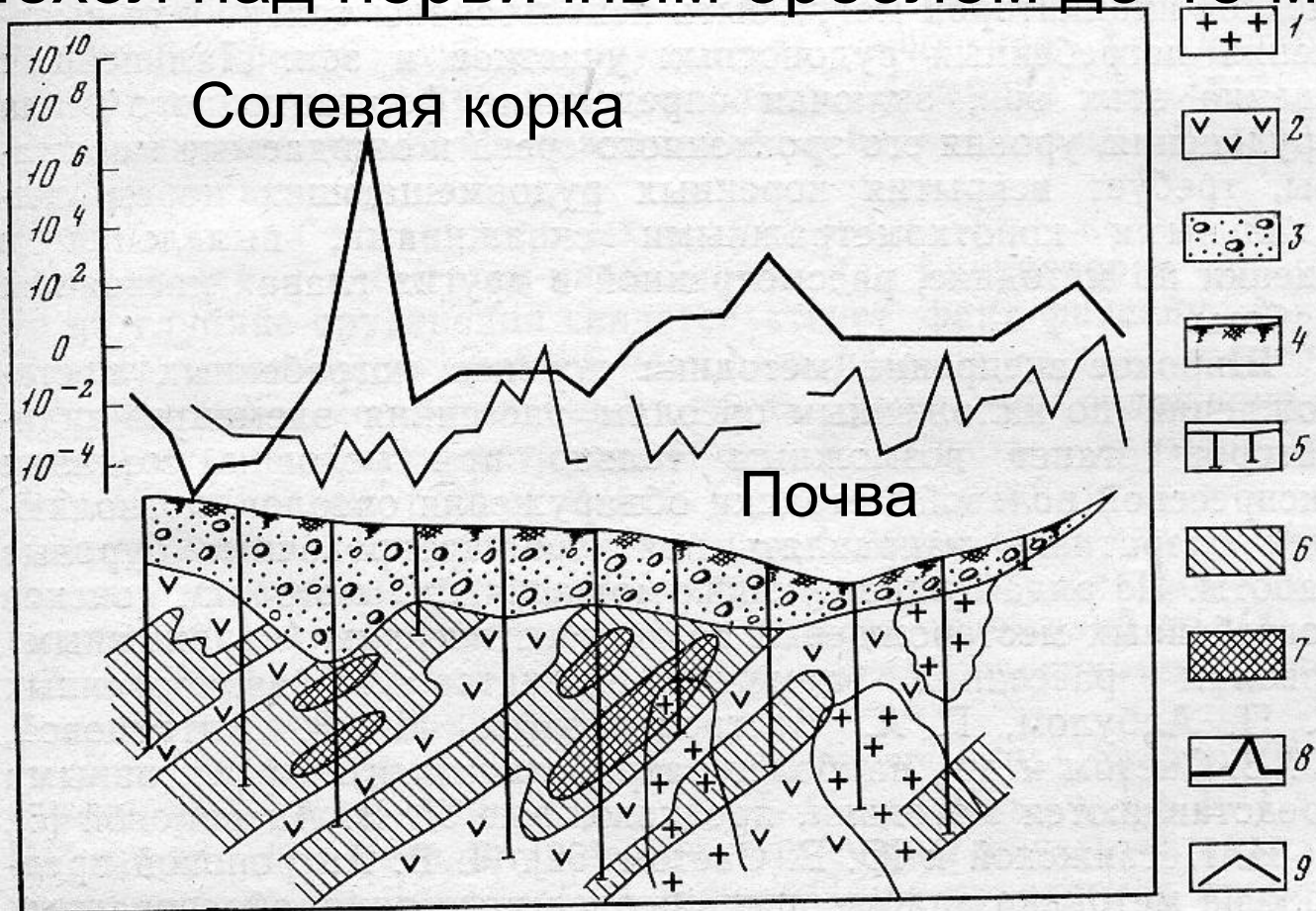
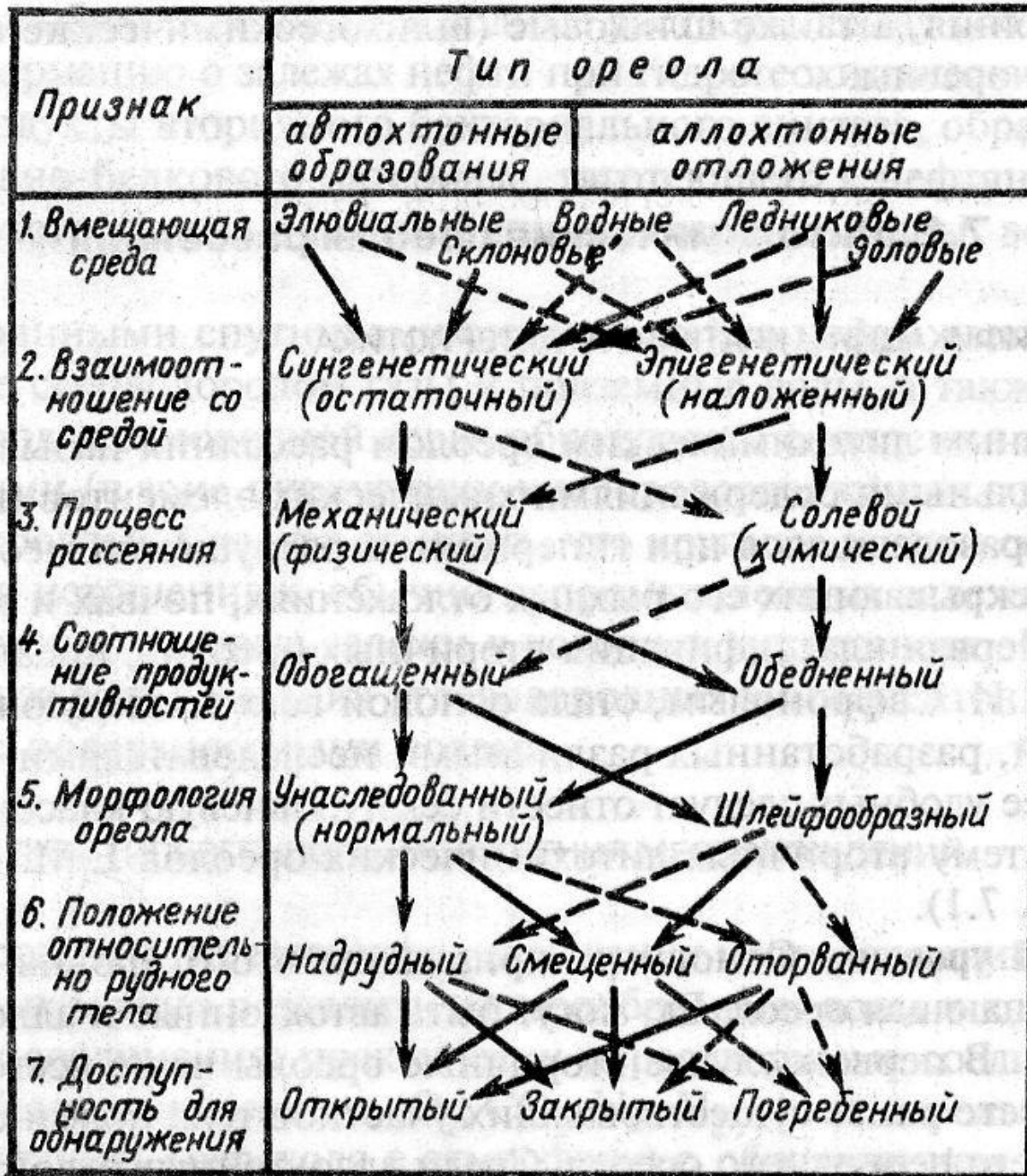
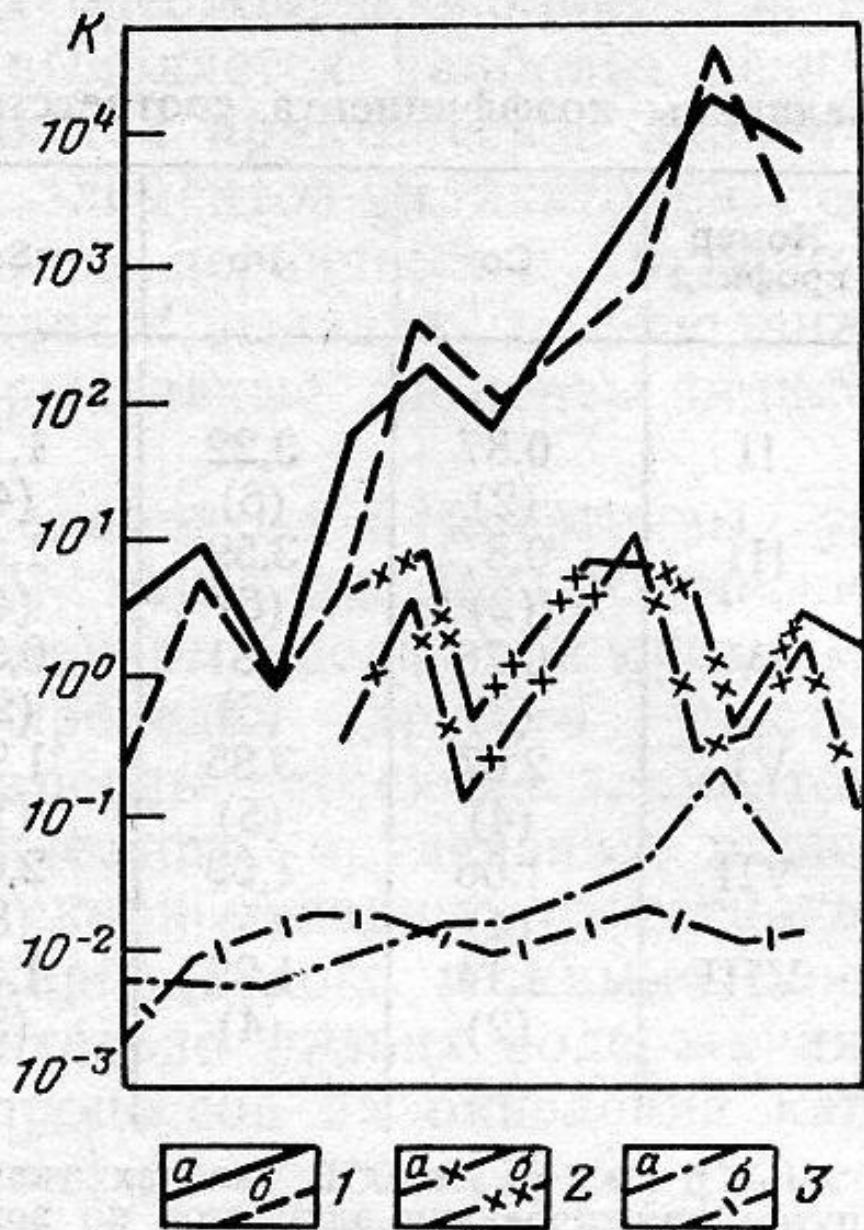


Схема классификации вторичных литохимических ореолов



Сравнение вторичных и первичных ореолов рассеяния

- Вторичные ореолы приближены к дневной поверхности.
- Вторичные ореолы превышают в плане по размерам, иногда значительно.
- Во вторичных ореолов промежуточное содержание рудной ассоциации элементов между первичным ореолом и фоновым содержанием.



- По ряду индикаторных элементов устанавливается тесная корреляция между первичными и вторичными ореолами.

Рис. 51. Графики отношений линейных продуктивностей (парных и мультипликативных) первичных (а) и вторичных (б) ореолов:

1 — мультипликативное; 2 — Pb/Cu; 3 — Ag/Cu

Таблица 7. Величины коэффициента соответствия первичных и вторичных ореолов

№ профиля	Co	Pb	Sn	Ba	Mo	Cu	Ag	Zn
II	0,87 (2)	3,22 (6)	1,17 (4)	9,2 (8)	1,14 (3)	1,98 (5)	3,25 (7)	0,32 (1)
III	0,8 (2)	3,59 (6)	1,83 (4)	3,43 (5)	4,18 (7)	1,68 (3)	6,91 (8)	0,42 (1)
IV	0,76 (3)	1,81 (6)	0,51 (2)	1,93 (7)	1,26 (4)	1,35 (5)	4,97 (8)	0,49 (1)
VI	2,67 (4)	3,85 (5)	1,93 (1)	14,1 (8)	5,96 (6)	2,39 (2)	9,79 (7)	2,47 (3)
VII	1,06 (4)	1,09 (5)	2,0 (8)	1,32 (7)	0,43 (1)	0,99 (3)	1,28 (6)	0,84 (2)
VIII	1,14 (2)	1,29 (4)	1,31 (5)	2,6 (6)	1,21 (3)	4,55 (7)	15,4 (8)	0,89 (1)

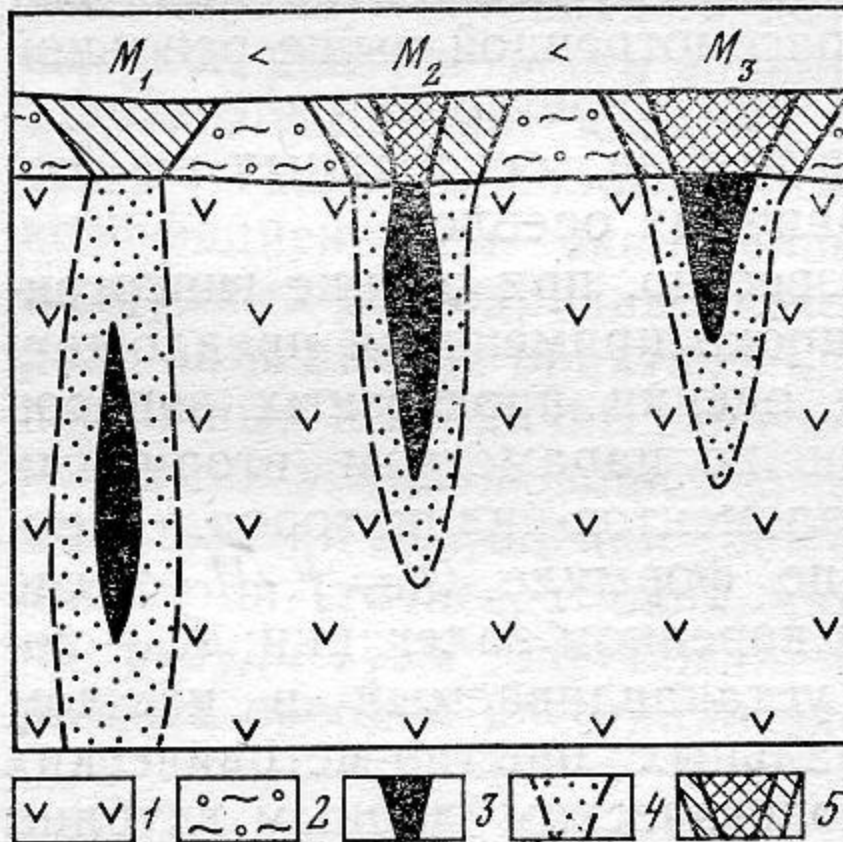
- Надрудные элементы – Ba, As, Ag, Pb
- Подрудные элементы – Cu, Bi, Co, W
- Мультипликативные ореолы даже в деталях повторяют друг друга и дифференцируют различные уровни эрозионного среза ореолов.

- **ВЫВОД:**

Вторичные ореолы элементов-индикаторов при ограниченной мощности перекрывающих отложений позволяют выявить и оценить уровень эрозионного среза первичных геохимических аномалий.

Рис. 44. Разные уровни эрозионного среза коренного оруденения

1 — рудовмещающие породы; 2 — элювиальные образования; 3 — рудные тела; 4 — первичные ореолы; 5 — вторичные ореолы



Интенсивность
вторичного ореола
прямо
пропорциональна
уровню среза
коренного
оруденения

Правило двух рядов подвижности

- Оценка вторичных ореолов по коэффициенту зональности.
- Число элементов должно быть максимальным (для обеспечения контрастности зональности)
- Группы над- и подрудных элементов должны быть расположены полярно в ряду гипогенной зональности и в правой части ряда гипергенной подвижности (низкая миграционная подвижность)
- Гипогенный ряд: (выделены устойчивые в рядах элементы)
- **Ba-As-Ag-Pb-Zn-Cu-Bi-Mo-Ni-Sn-Co-W**
- Гипергенный ряд:
- **Co-Ni-Zn-As-Sn-Cu-Mo-Bi-Pb-W-Ag-Ba**

Основные внешние факторы, определяющие образование вторичных литохимических ореолов

- **Климатический фактор.** На первом месте водный режим.

При избыточном увлажнении – погребенные солевые ореолы. При преобладании испаряемости – диффузионное перемещение растворимых солей от рудных тел. Засоление почв – открытые солевые ореолы. Многолетняя мерзлота – доледниковые и криогенные зоны окисления рудных месторождений.

- **Структурный фактор** – развитие разрывных нарушений, способствующих интенсивной миграции элементов-индикаторов.
- **Фактор ландшафтно-геохимических особенностей** изучаемого региона.

Их игнорирование приводит к пропуску слабоконтрастных и выделению ложных аномалий.

- **АТМОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ (ГАЗОВЫЕ)**

- Газовые и радиоактивные ореолы рассеяния полезных ископаемых и подземных вод возникают над месторождениями, образование или разрушение которых связано с выделением газообразных продуктов (нефтяными, угольными, ртутными, собственно газовыми) или продуктов радиоактивного распада. Выявление и изучение представляет собой сущность атмохимических методов поисков.

Атмохимические ореолы рассеяния

- Три группы по особенностям формирования
 - **Ореолы первой группы**
- 1. Ореолы над залежами нефти и газа. Аномально высокие концентрации метана и тяжелых углеводородов. Газовый каротаж (газометрия скважин). Аэрогеохимические съемки.
- 2. Ореолы над скоплениями гелия – сам He.
- 3. Ореолы над рудными месторождениями – Hg и S. Также N_2 , CO_2 , H_2S , CO, H_2 , CH_4 , Ar, He.

- 4. Ореолы, образуемые газами глубинного происхождения, мигрирующими по тектонически ослабленным зонам, к которым часто приурочены рудные тела.

Аномалии CO_2 над разломами с Au-сод. кварцевыми жилами.

- **Ореолы второй группы** – изменен состав подпочвенных газов над сульфидными месторождениями.

В результате окисления руд и разложения карбонатов происходит поглощение из атмосферы O_2 и выделение H_2S и CO_2 .

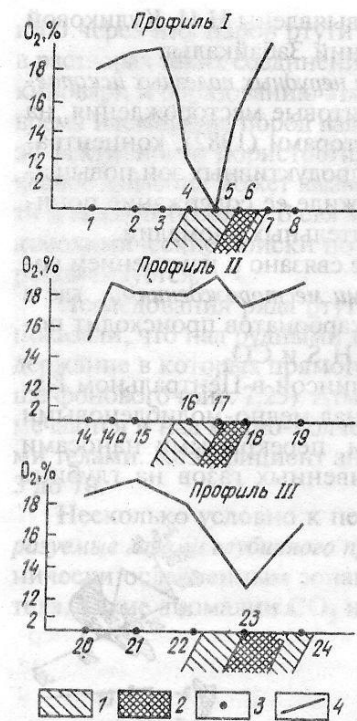


Рис. 7.25. Отрицательные аномалии кислорода на участке Кень-Кундук:
 1 – рудная зона; 2 – максимальное обогащение; 3 – точки газовой съемки; 4 – кривая содержания кислорода

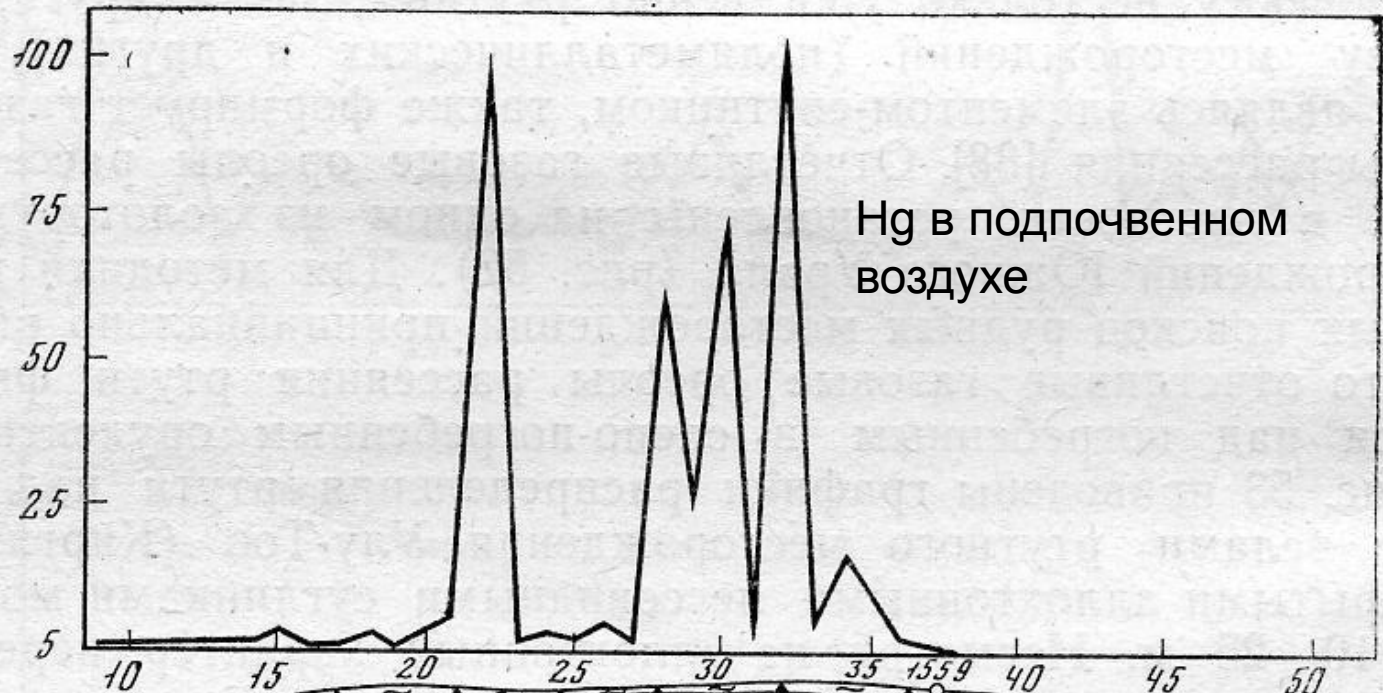
- **Ореолы третьей группы – распад ряда радиоактивных элементов.**

Продукт распада $^{238}\text{U} \rightarrow ^{222}\text{Rn}$ ($T_{1/2}=4$ дня)
+He+ ^{85}Kr + ^{133}Xe (радон не успевает
переместиться далеко по подземным водам).

Th \rightarrow торон ^{220}Rn +He

$^{40}\text{K} \rightarrow \text{Ar}$

10^{-8} мг/л



10 0 10 20 м

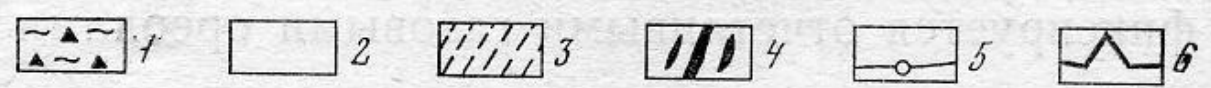
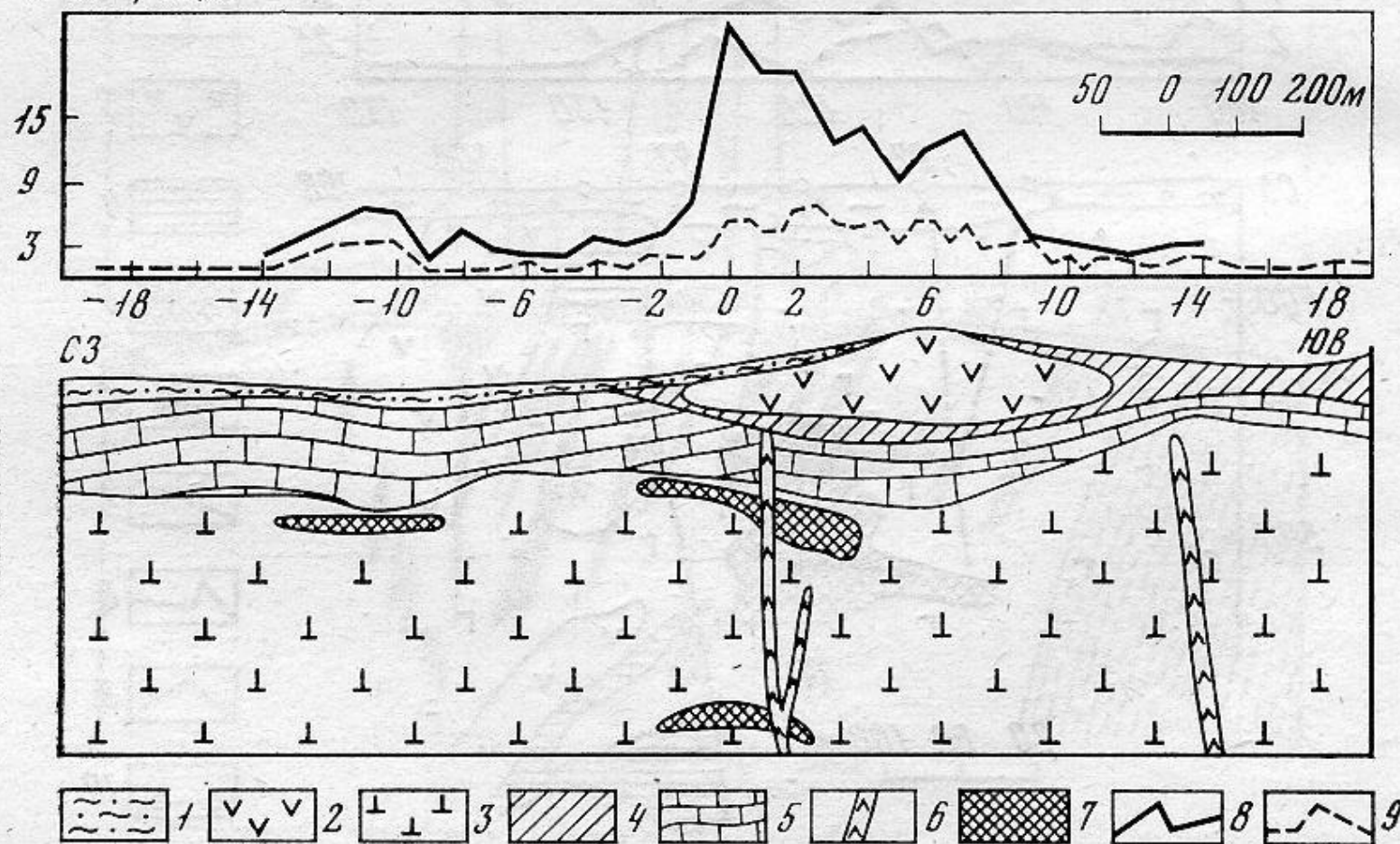


Рис. 55. Графики концентрации ртути в почвенном воздухе на месторождении Узелгинское (по В. З. Фурсову)

1 — суглинки и глины; 2 — андезитовые порфириды; 3 — липариты; 4 — кремнистые сланцы; 5 — известняки; 6 — дайки габбро-диабазов; 7 — рудные тела; 8 — график измерений 22—29 июня 1973 г.; 9 — график измерений 2—3 июля 1973 г. после интенсивных дождей

Нг в почвенном воздухе

$n \cdot 10^{-8}$, мг/л



Гидрогеохимические ореолы

- Характерны максимальные размеры
- Локальные участки с аномальными концентрациями элементов-индикаторов в подземных и поверхностных водах
- Ряд убывания миграционной способности:
- Ag-Mn-Zn-Pb-Ni-Mo-Co-S-Ti-Cu

Горизонтальная зональность гидрогеохимических ореолов

Выражается в:

- наличии в пределах общего ореола **зон концентраций** отдельных химических элементов различной протяженности. Связана с разной миграционной способностью элементов в водах;
- преимущественном **уменьшении содержания** всех элементов и компонентов в водах по мере удаления от рудных тел. Связано с разбавлением окружающими не минерализованными водами и с постепенным сокращением миграционной способности химических элементов и их выпадением из вод в результате процессов гидратации, сорбции,

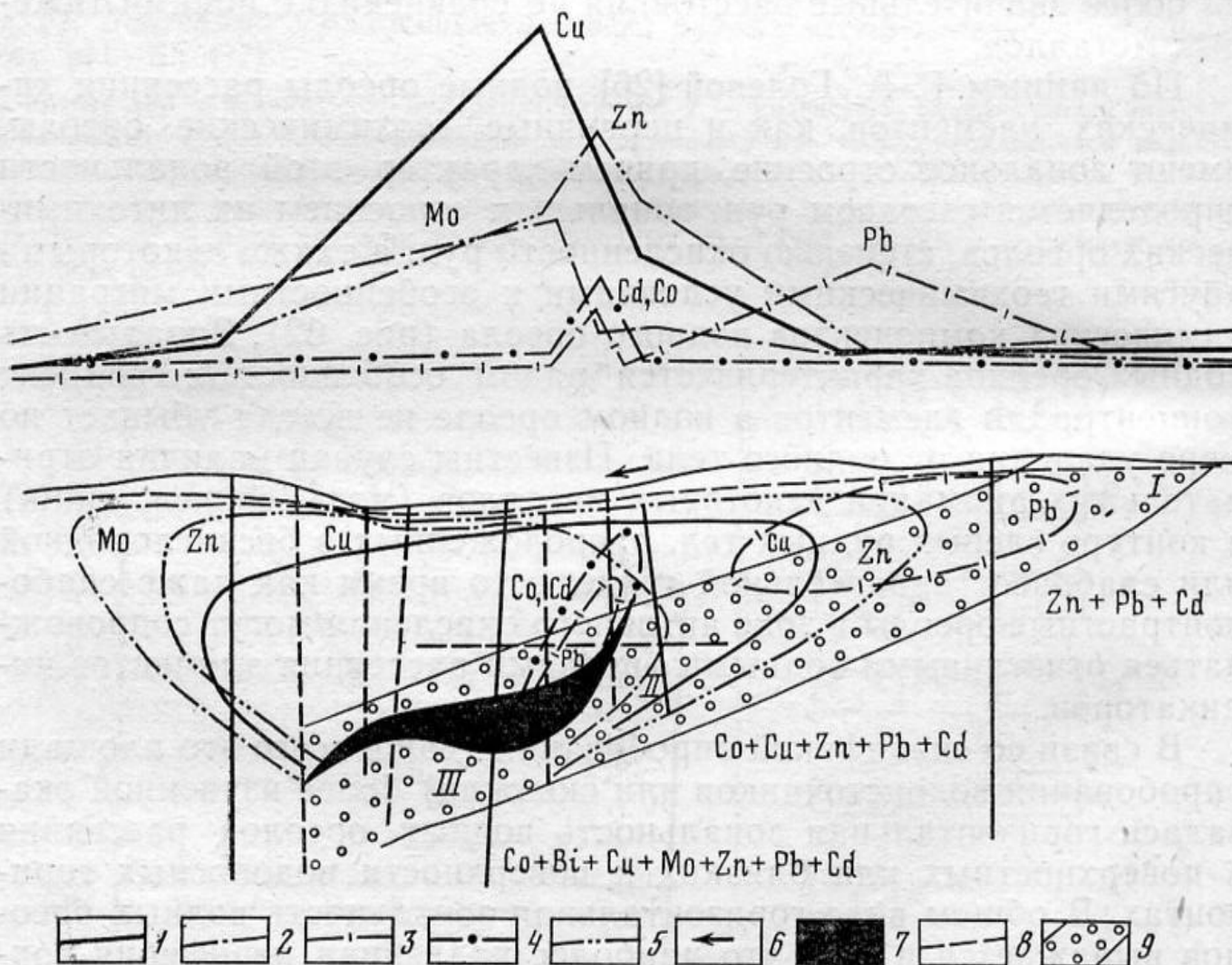
- Горизонтальные ряды зональности элементов индикаторов сульфидных месторождений в гидрогеохимических ореолах

• в грунтовых и поверхностных водах ($\text{pH}=5,5-7,5$; Eh от $+0,2$ до $+0,4$ В) — W-Be-Co-Bi-Au-Cd-Pb-As₁-Sn-Hg-Ni-Cu-As₂-Mo-Ag-Zn;

• в глубинных термальных водах зоны катагенеза ($\text{pH}=5,5-6,5$; $\text{Eh}<0$ В) — Be-Co-Bi-Cu₁-Au-Ni-Sn-Mo-Cu₂-Ag-Mo₂-W-Zn-Pb-Cu-Mn-Sb(As, F, B, Hg)-Li(Rb, Cs).

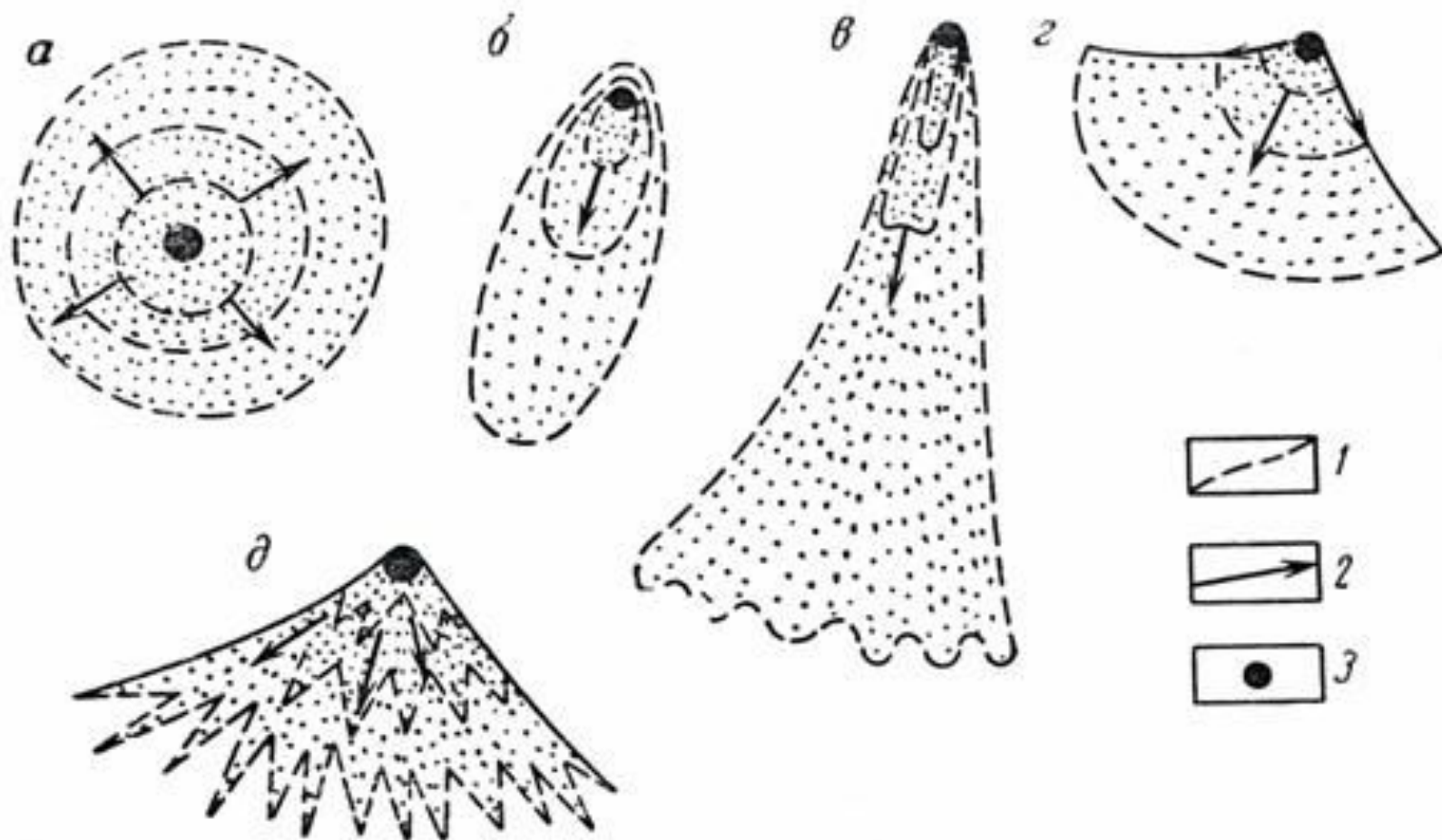
Рис. 62. Геохимическая зональность водных и эндогенных ореолов на примере скрытого медноколчеданного оруденения (по Г. А. Голевой)

Контурные водных ореолов: 1 — меди; 2 — свинца; 3 — 4 — кадмия и кобальта; 5 — цинка; 6 — направление движения ореольных вод в коре выветривания рудовмещающих пород; 7 — рудная залежь; 8 — уровень грунтово-трещинных вод; 9 — эндогенный ореол. Зоны: I — надрудная, II — околорудная, III — подрудная



Форма гидрогеохимических ореолов

а - ореол в малоподвижных водах; б - ореол вытянут в форме эллипса по направлению движения воды; в - шлейф; г - сектор; д - веер. 1- изолинии концентрации рудных элементов; 2 - направление движения воды; 3 - рудное тело



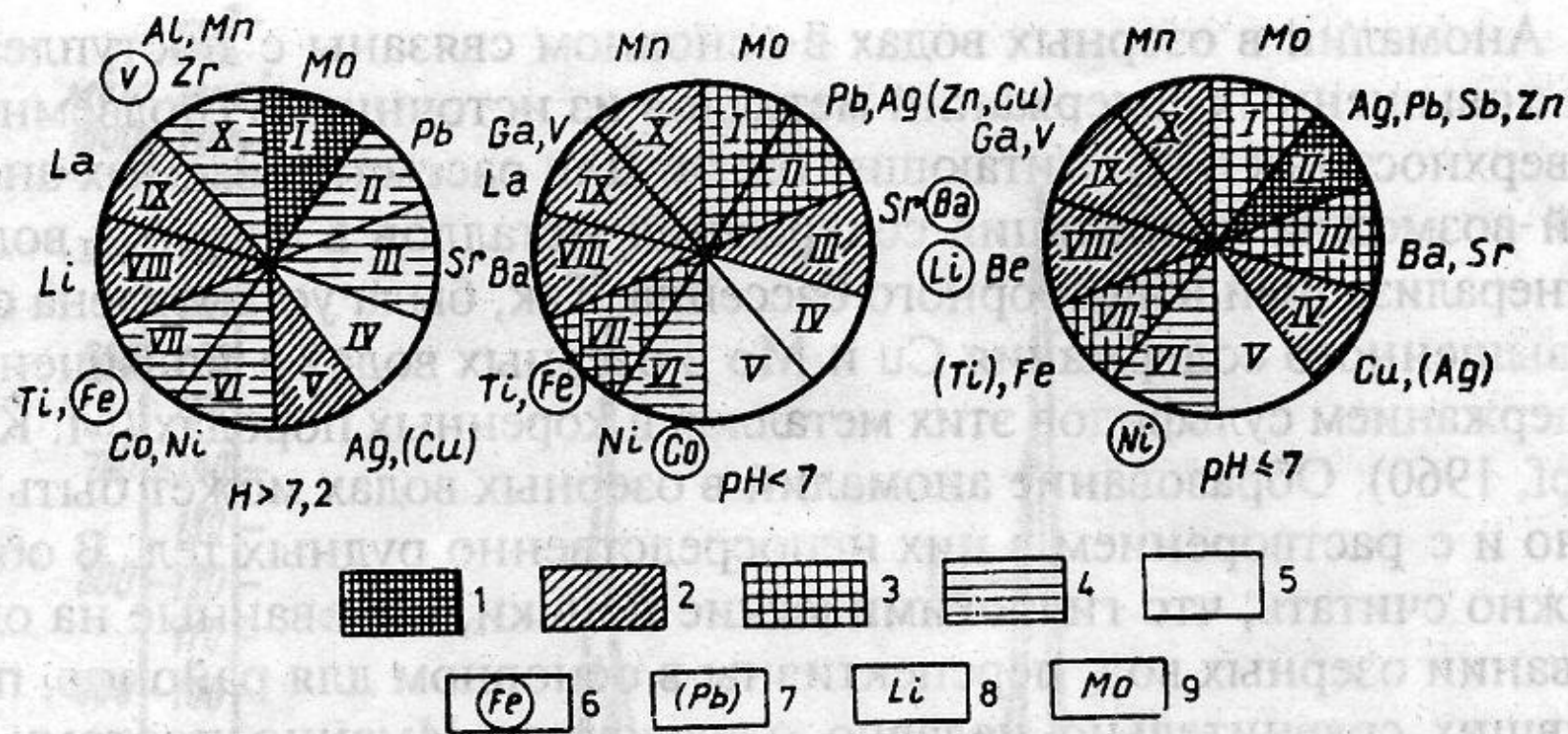


Рис. 7.18. Сочетание поисковых ассоциаций элементов и их количества в зависимости от рН в природных водах редкометалльных и полиметаллических месторождений:

Биогеохимические ореолы –
статистически достоверные отклонения
концентрации химических элементов от
фоновых содержаний в
стандартизированных пробах растений
или других биологических объектах.

Геохимические показатели биогенной миграции элементов

- **Биофильность** (B_x) – отношение кларка элемента в живом веществе к его кларку в литосфере.
- **Кларк концентрации** (KK) – отношение содержания химического элемента в конкретном природном объекте к кларку литосферы.
- **Коэффициент концентрации** (Kc) – отношение содержания химического элемента в золе растения к его местному

- **Растительно-почвенный коэффициент (РПК)** – отношение концентрации химического элемента в золе растения к содержанию в почве.
- **Растительно-водный коэффициент (РВК)** – отношение концентрации химического элемента в золе растения к содержанию в воде.
- **Растительно-газовый коэффициент (РГК)** – отношение концентрации химического элемента в золе растения к содержанию в воздухе – приземном или почвенном.

- ***Коэффициент относительного поглощения (КОП)*** – отношение содержания элемента в золе изучаемого вида к содержанию в эталонном виде, произрастающем в сопоставимых условиях.

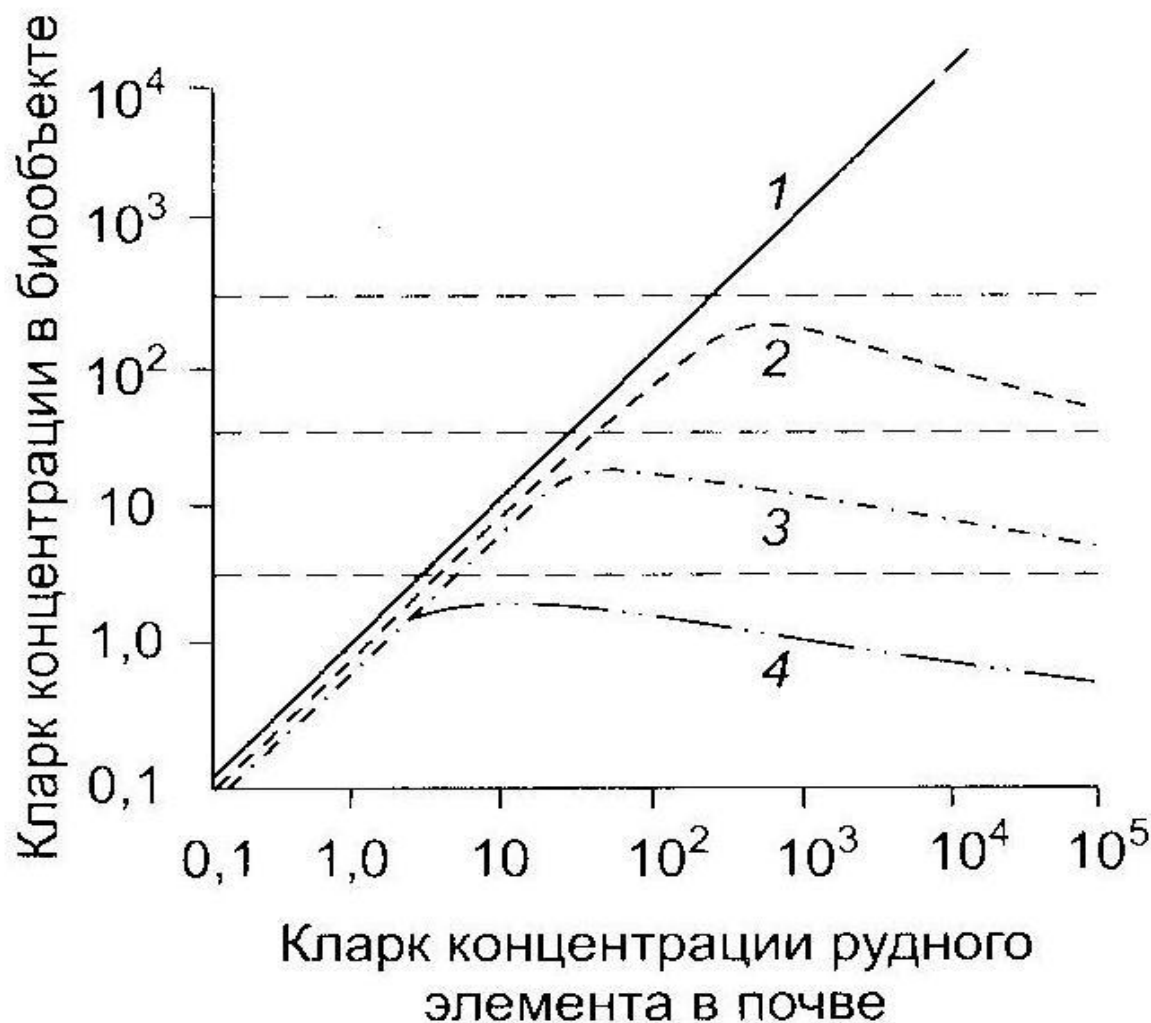
Основные факторы, влияющие на содержание химических элементов в растениях

1. Содержание элемента в питающей среде.
2. Минеральные формы нахождения химических элементов в почвах и горных породах.
3. Распределения химических элементов в различных органах и частях растений и динамика их содержаний во времени.
4. Видовая принадлежность растений.

Средние содержания химических элементов в растениях (по А.П. Виноградову, 1952)

Порядок содержания, %	В живом веществе	В сухом веществе	В сырой золе
$n \cdot 10$	H, C, O	H, C, O	C, O, K, Ca
n	–	N, K, Ca	Na, Mg, Si, P, S, Cl
$n \cdot 10^{-1}$	N, K, Ca	Na, Mg, Si, P, S, Cl	Al, Ti, Mn, Fe, Sr
$n \cdot 10^{-2}$	Na, Mg, Si, P, S, Cl	Al, Ti, Mn, Fe, Sr	B, V, Rb, Zn, F, Ba
$n \cdot 10^{-3}$	Al, Ti, Mn, Fe, Sr	B, V, Rb, Zn, F, Ba	Li, Cr, Ni, Cu, Pb
$n \cdot 10^{-4}$	B, V, Rb, Zn, F, Ba	Li, Cr, Ni, Cu, Pb	Be, Cd, Sc, Co, Ga, As, Se, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, I, Cs, La, Ce, TR, Th
$n \cdot 10^{-5}$	Li, Cr, Ni, Cu, Pb	Be, Cd, Sc, Co, Ga, Ge, As, Se, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, I, Cs, La, Ce, TR, Th	Ge, Ag, Sb, Hg, Ta, W, Tl, Hg (в расчете на золу), U
$n \cdot 10^{-6}$	Be, Cd, Sc, Co, Ga, Ge, As, Se, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, I, Cs, La, Ce, TR, Th	Ge, Ag, Sb, Hf, Ta, W, Hg, Tl, U	Se
$n \cdot 10^{-7}$	Ge, Ag, Sb, Hf, Ta, W, Hg, Tl, U	Se	Bi, Au, Re
$<n \cdot 10^{-7}$	Se, Bi, Au, Re, Ra, Ac	Bi, Au, Re, Ra, Ac	Ra, Ac

Типичные зависимости содержания химических элементов в растениях от концентрации их в питающей среде (по А.Л. Ковалевскому 1991)



Группы химических элементов по относительной величине их предельной концентрации в надземных частях растений (по А.Л. Ковалевскому, 1991)

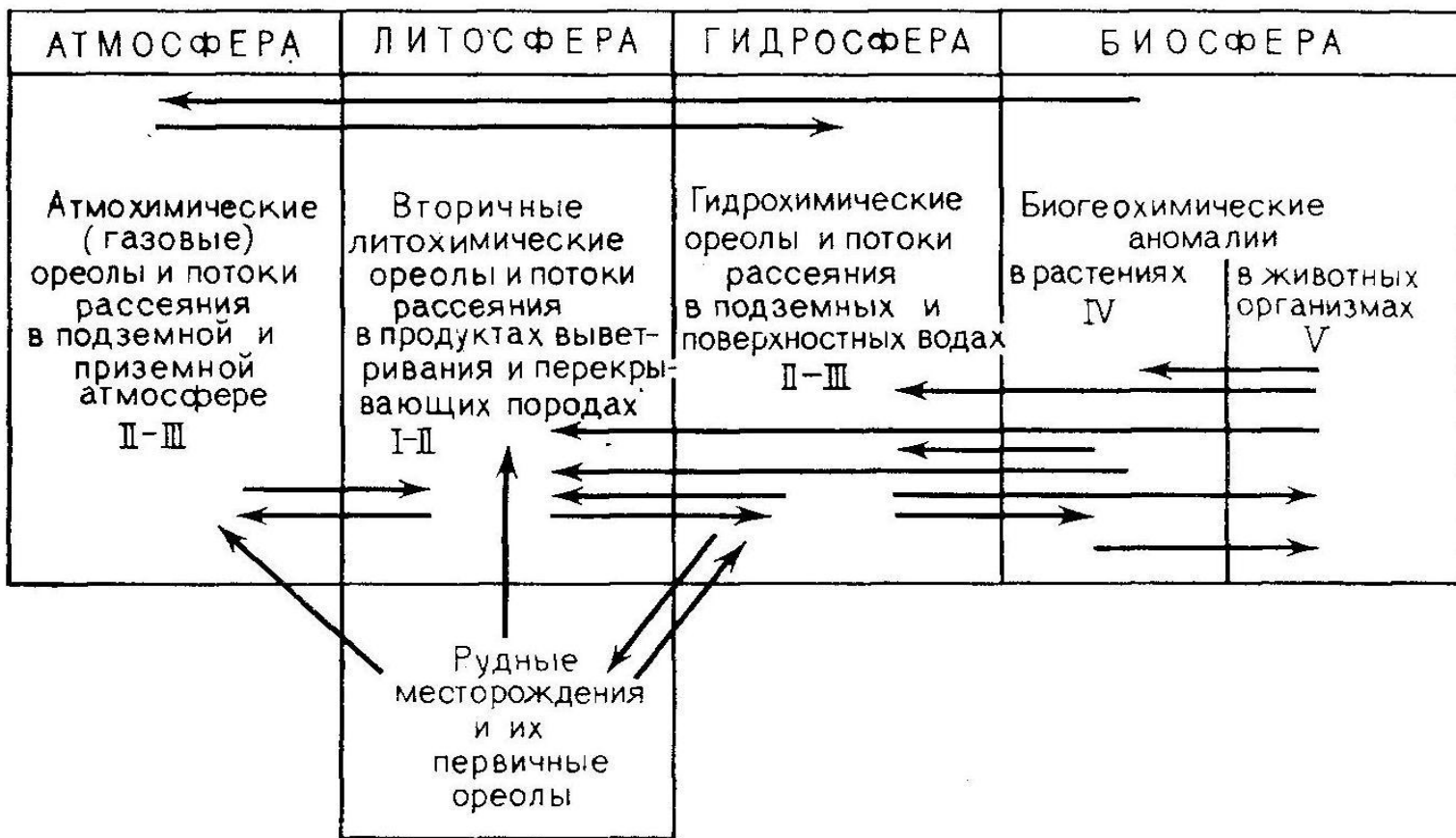
Номер группы	Группа	Химические элементы
I	Безбарьерные, концентрирующие (количественно-информативные) с максимальными содержаниями, превышающими фоновые или кларковые значения в соответствующих биообъектах в сотни и тысячи раз	Na, Ra, Mo, S, Se, Cl, Re
II	Практически безбарьерные, приближенно-количественные с предельными концентрациями, превышающими фоновые содержания в 30–300 раз	Na, Rb, Au, Zn, Cd, Hg, B, Ge, Sn, As, Sb, Bi, S, Se, Mo, Cl, Re, Co, Ni
III	Барьерные, слабоконцентрирующие (качественно-информативные) с предельными содержаниями, превышающими фоновые в 3–30 раз	Na, K, Li, Rb, Cs, Cu, Ag, Au, Be, Sr, Ba, Zn, Cd, Hg, B, Y, La, Ce, Th, U, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Cr, Mo, W, S, Se, Co, Ni
IV	Фоновобарьерные, неконцентрирующие (неинформативные) с предельными содержаниями, близкими к фоновым	K, Li, Rb, Cs, Cu, Ag, Au, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Hg, B, Al, Th, U, Si, Pb, N, P, Bi, W, Mn, F, Br, I, Fe

Группы химических элементов по величине их РПК для наземных частей высших растений

(по А.Л. Ковалевскому, 1984)

Положение химических элементов в системе Д.И. Менделеева		Группы элементов и характеристика интенсивности поглощения их растениями				
Группа	Под-группа	весьма интенсивного накопления, РПК = 30–300 и более	интенсивного накопления, РПК = 3–30 (среднее ~10)	среднего накопления, РПК = 0,3–3 (среднее ~1,0)	слабого накопления, РПК = 0,03–0,3 (среднее ~0,1)	весьма слабого накопления, РПК = 0,003–0,03 и менее
I	а	(Na ⁴)	Na, K, Rb, (Li ⁴)	Li, Cs	(Li ¹ , Rb ¹ , Cs ¹)	
	б		Cu	Cu, Ag, Au	(Cu ¹)	(Au ²)
II	а	(Sr ⁴)	Mg, Ca, Sr, Ba	Be, (Ba ¹ , Sr ¹), Ra	(Be ¹ , Ba ¹)	
	б		Zn, Cd, Hg	(Zn ¹ , Hg ¹)	Hg ¹	
III	а		B, (B ⁴)	Ga, [In] ⁵ , Tl	Al, (B ³)	
	б			Sc, U	Y, La, Tr, Th, U	(Th ¹ , U ¹)
IV	а			Ge, Sn, Pb	Si, (Sn ¹ , Pb ¹)	(Sn ¹)
	б			Ti, Zr, Hf	Ti, Zr, Hf	
V	а	N, P		As, Sb, Bi, (P ¹)	(As ¹)	(As ¹)
	б			V	Nb, Ta	
VI	а	S, (Se ⁴)	Se	(S ¹ , Se ¹), [Te, Po] ⁵		
	б		(Mo ⁴)	Cr, Mo, W	(Cr ¹ , Mo ¹ , W ¹)	
VII	а	Cl, (Br ⁴)	Br, (F ⁴)	F, I, [At] ⁵	(F ¹)	
	б		Mn	Mn, [Tc, Re] ⁵	(Mn)	
VIII	а					
	б			Co, Ni	Fe, (Co ¹ , Ni ¹), [Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt] ⁵	(Fe ¹)

Взаимосвязанность и взаимобусловленность геохимических аномалий в геосферах (по А.П. Соловову, 1985)



I – V - степень удаленности от объекта поисков

Основные факторы, влияющие на формирование биогеохимических ореолов рудных месторождений в растениях:

- доступность растениям минеральных и химических форм элементов-индикаторов, находящихся в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих пород;
- величина поверхности контакта корневых систем растений с лито-, гидро- и атмосферическими ореолами рассеяния;
- наличие и величина антиконцентрационных физико-биохимических барьеров против высоких концентраций рудных элементов в питающей среде.

Рассматривая способность растений к накоплению тех или иных микроэлементов выделяют два типа концентрации: **групповую** и **селективную**.

В случае групповой концентрации все растения, произрастающие на определенной площади, содержат повышенные количества тех или иных химических элементов в зависимости от присутствия этих элементов (в высоких содержаниях) в почве и подстилающих породах.

При селективной концентрации накопление отдельных видов химических элементов или их ассоциаций осуществляется определенными видами, или чаще родами растений.

Эндемизм

Эндемичные виды (эндемики) – виды растений, имеющие очень узкий ареал распространения, ограниченный геохимической средой, отличающейся повышенной или пониженной концентрацией одного или нескольких химических элементов. Эндемичные виды растений характеризуются устойчивыми морфологическими признаками, присущими только им.

Растения, сигнализирующие о рудах Zn – **галмейная** флора. Характерна для почв над цинковыми месторождениями Средней и Южной Европы. Наиболее распространенные представители – галмейная фиалка и галмейная ярутка. Их зола содержит 13-21% оксида Zn – в 150 раз больше его среднего содержания в растительности суши. Галмейные группировки характерны не только по своему видовому составу, но и по специфическому облику: низкорослость, более сильное развитие подземных частей сравнительно с надземными, длительный период цветения.

Эндемичные виды, которым необходима высокая концентрация Sn, образуют **оловянную** флору, представители которой произрастают только на отвалах старых оловянных рудников в ФРГ, Бразилии.

Известны растения с очень высокой концентрацией Cu: «медные мхи» в Швеции, качим на Рудном Алтае.

Факторы, влияющие на зависимость химического состава растений от содержания элементов в почвах и

породах

1. Зависимость содержания элементов от видов растений. Выделяются группы растений с постоянно повышенными или пониженными содержаниями какого-либо элемента: *растения-концентраторы* и *деконцентраторы*.
2. Неравномерность распределения элементов по органам растений. Выделяют растения с **базипетальным** распределением элементов (содержания элементов уменьшаются от листьев к стеблям и корням) и **акропетальным** (содержания элементов уменьшаются от корней к стеблям и листьям).

3. Вегетационные и возрастные изменения содержания элементов в растениях. Стремление к концентрации тех или иных микроэлементов у многих растений заметно усиливается в периоды цветения или плодоношения. Процессы биосинтеза протекают наиболее интенсивно в молодых растениях и замедляются по мере их старения, вследствие чего в старых растениях способность к поглощению микроэлементов из окружающей среды часто проявлена слабее, чем в молодых.
4. Зависимость содержания элементов в растениях от климатических условий. От них зависит глубина проникновения корней. В связи с этим меняется источник элементов, поступающих в растения, а следовательно, и их содержание.

5. Зависимость содержаний того или иного элемента в растении от формы нахождения его в почве или породе. Наиболее доступны элементы, находящиеся в растворах.

Недоступны элементы, входящие в трудно растворимые и устойчивые минералы.

Биогеохимические ореолы (до 100 м вглубь)

- **Геоботанические поиски:**
- биогенная аккумуляция в растениях (золе)
- растения- индикаторы (универсальные и локальные – в отдельных районах)
- характерные изменения растений (физиологические и морфологические)
- **Микробиологические поиски:**
- специфические микроорганизмы, приспособившиеся к высоким концентрациям ряда элементов в водах, породах и рудах.

Таблица 7.3. Физиологические и морфологические изменения растений, обусловленные токсичностью металлов (с использованием данных Г. Кэннон, 1957)

Элемент	Признаки
Al	Короткие шишковатые корни, покоробленные листья, пятнистость
B	Темная листва; при высокой концентрации бора более старые листья покороблены по краям, задержание в росте, деформированные, укороченные междоузлия, ползучие формы; сильное опушение, усиленное галлообразование*
Cr	Желтые листья с зелеными прожилками
Co	Белые омертвевшие пятна на листьях
Cu	Омертвевшие пятна на кончиках нижних листьев; багровые стебли, хлорозные листья с зелеными прожилками, задержанные в росте корни; у некоторых видов ползучие бесплодные формы
Fe	Задержание в росте верхушки, утолщенные корни, у водорослей – образование сильно увеличенных клеток в результате нарушения их деления
Mn	Хлорозные листья, пораженные стебли и черешки, скрученные и сухие участки по краям листьев, деформация пластинки листа
Mo	Задержка в росте, желто-оранжевая окраска
Ni	Белые омертвевшие пятна на листьях; безлепестные бесплодные формы
U	Аномальное число хромосом в ядре; плоды необычной формы; безлепестные бесплодные формы; собранные в розетку листья; иногда увеличение размеров плодов
Zn	Хлорозные листья с зелеными прожилками, белые карликовые формы; омертвевшие пятна на кончиках листьев; задержанные в росте корни
Pb	Омертвление листьев и веток некоторых частей растений, иногда уменьшение размеров листьев деревьев

* Галлы – патологические новообразования на некоторых (главным образом молодых) частях растений.

Рис. 58. Биогеохимические ореолы бериллия на поверхности редкометального месторождения (по Л. И. Грабовской)

- 1 — рудные тела;
2, 3 — биогеохимические ореолы бериллия
(3 — поля повышенных содержаний элемента-индикатора)

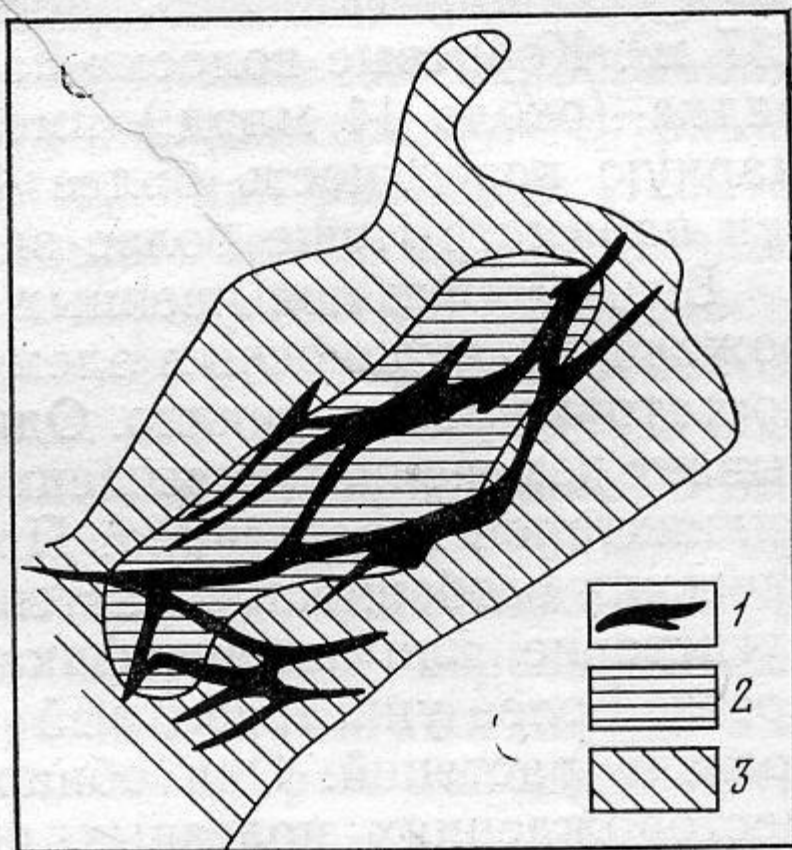


Таблица 14. Распределение элементов-индикаторов по органам растений (по В. В. Поликарпочкину)

Элемент	Характер распределения
Цинк	Наибольшие содержания в листьях. В корнях и коре содержание больше, чем в древесине ствола. В ветвях содержания, промежуточные между содержаниями в древесине и листьях.
Свинец	Накапливается в корнях в наибольших количествах. В древесине ствола, ветвях и листьях содержания близкие
Медь	Наибольшие содержания в корнях. В древесине ствола, ветвях и листьях содержания одинаковые. Также концентрируется в стеблях и сухих плодах травостоя
Серебро	Наибольшее содержание в корнях
Олово	То же
Селен	» »
Молибден	В листьях содержание больше, чем в коре и древесине. Энергично концентрируется в клубеньках (на корнях) и семенах бобовых
Никель	Накапливается в древесине. Концентрируется в листьях и стеблях травостоя
Кобальт	Свойственно равномерное распределение в надземной части растений. В корнях не накапливается
Бор	В листьях содержание в десятки раз больше, чем в стеблях, ветвях, семенах
Марганец	Концентрируется в листьях и корнях
Кадмий	В ветвях содержание больше, чем в листьях

Таблица 15. Ряды биологического поглощения элементов
(по А. И. Перельману)

Группа элементов	Интенсивность накопления или захвата	Коэффициенты биологического поглощения				
		$100 \cdot n$	$10 \cdot n$	n	$0, n$	$0, 0n - 0, 00n$
Элементы биологического накопления	Энергичное	P, S, Cl, Br, J				
	Сильное			Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Ge		
Элементы биологического захвата	Среднее			Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra		
	Слабое и очень слабое				Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Se, Be, Cs, Ta, U, W, Sb, Cd	

Таблица 17. Глубина залегания рудных тел, фиксируемых биогеохимическими аномалиями

Месторождение	Местонахождение	Глубина от поверхности, м
Никелевое	Макола, Финляндия	4
Молибденовое	Рауцио, Финляндия	7
Хромитовое	Склэри, Нижняя Силезия	15
Железорудное	Октябрьское, Сибирь	20
Медное	Калугинское, Урал	25
Урановое	Ла-Вентана, США	25
Полиметаллическое	Уинтворт, США	30
Медноколчеданное	Урал	33

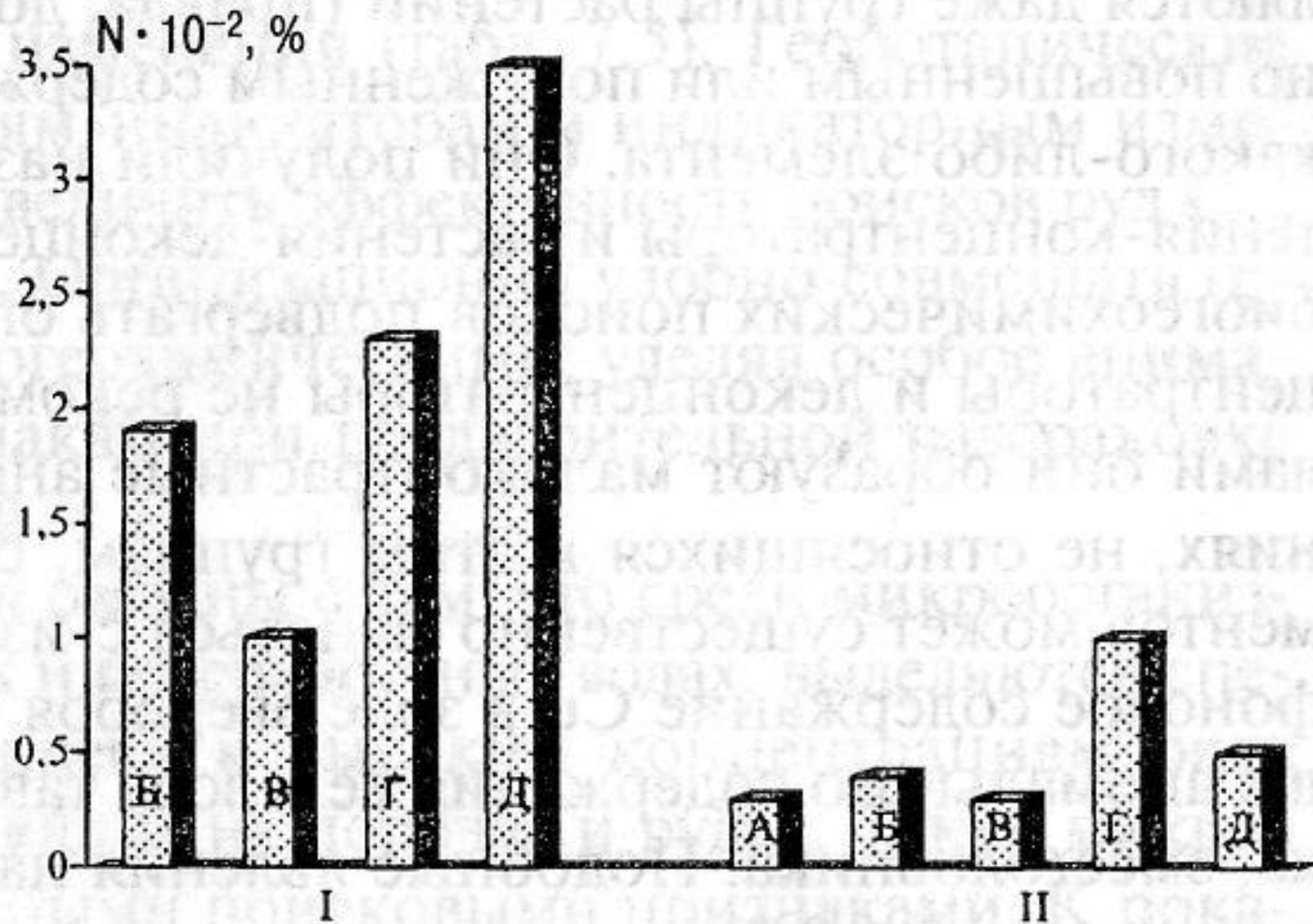


Рис. 7.12. Содержание Рb в васильке в различные фенологические фазы развития (Каратау):

I — над рудной зоной; *II* — над безрудным участком; фенофазы: *А* — зацветание; *Б* — цветение; *В* — отцветание; *Г* — образование семян; *Д* — созревание семян

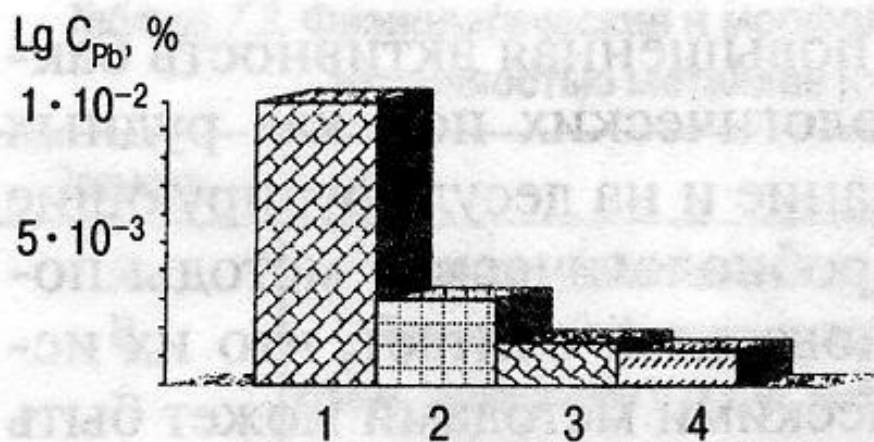


Рис. 7.11. Содержание Pb и Cu в различных частях сасыра (Каратау):
 I — листья; 2 — черенки листьев; 3 — плодоносящий побег; 4 — семена

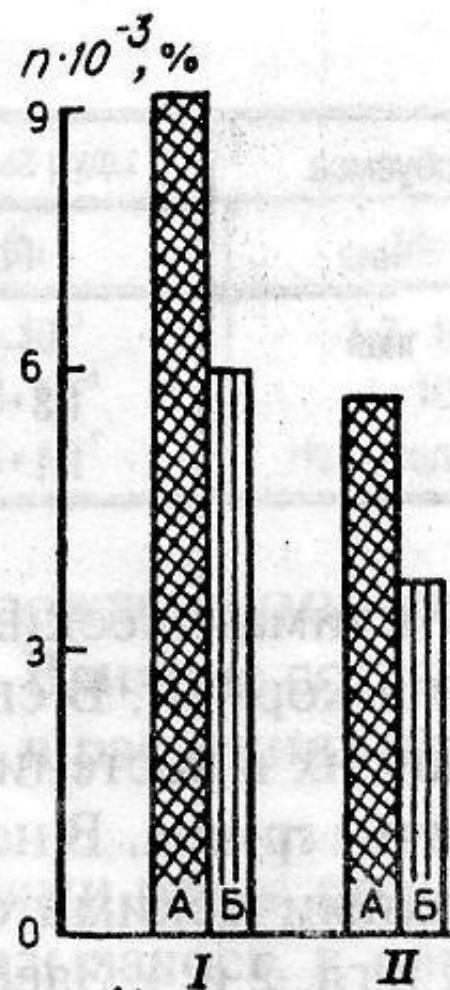


Рис. 7.13. Содержание Pb в степной вишне (Каратау):

I — над рудной зоной; II — над безрудным участком; A — в многолетних побегах; B — в однолетних побегах