



Общая геохимия

Лекция 12

Прикладная геохимия. **Первичные ореолы**

УЧЕБНИК ДЛЯ **XXI** ВЕКА

В.А. Алексеенко 2005

**Геохимические методы
поисков месторождений
полезных ископаемых**

УЧЕБНИК

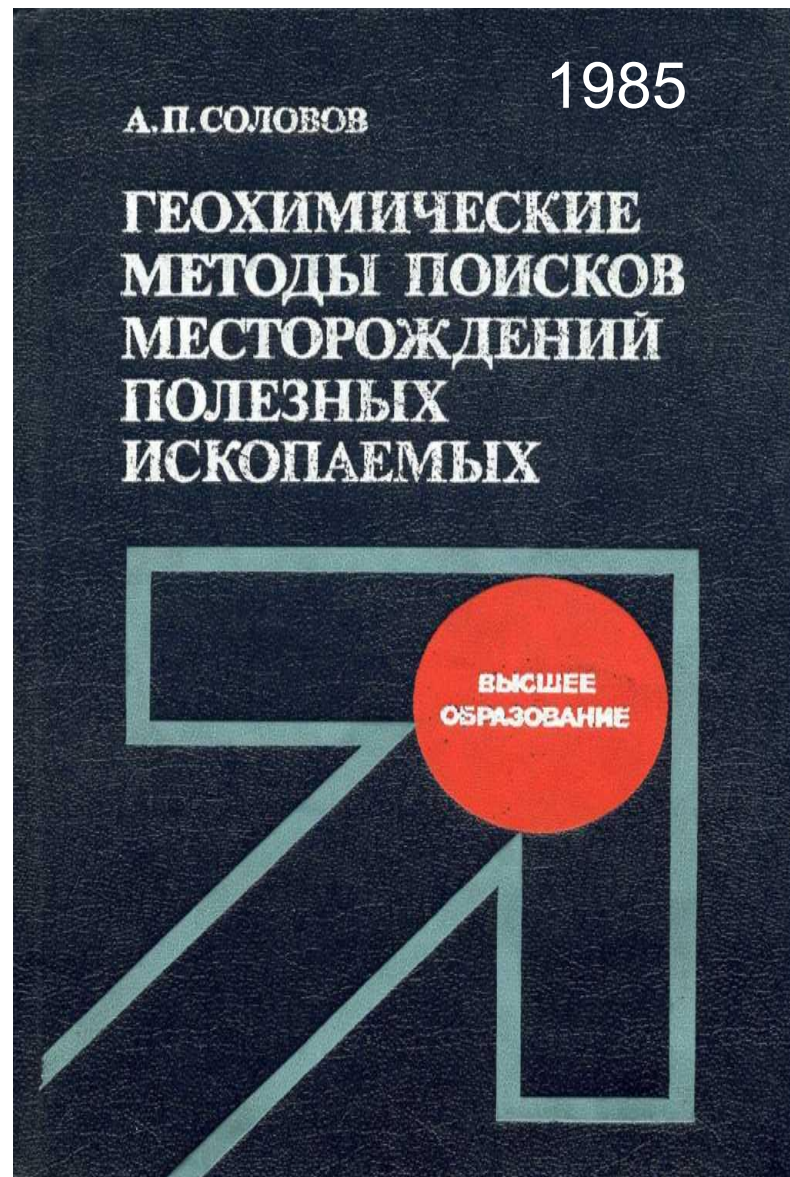
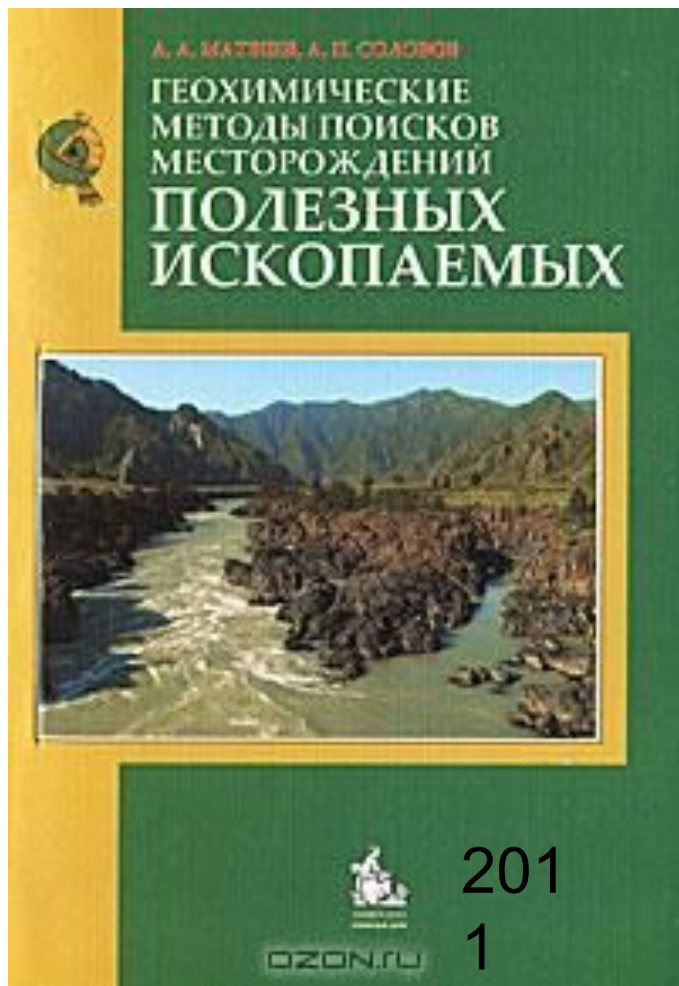
3 Li ЛИТИЙ 6,941	4 Be БЕРИЛЛИЙ 9,01218	5 B БОР 10,81	6 C УГЛЕРОД 12,011
11 Na НАТРИЙ 22,98977	12 Mg МАГНИЙ 24,305	13 Al АЛЮМИНИЙ 26,98154	14 Si КРЕМНИЙ 28,0855
19 K КАЛИЙ 39,0983	20 Ca КАЛЬЦИЙ 40,08	21 Sc СКАНДИЙ 44,9559	22 Ti ТИТАН 47,88
29 Cu МЕДЬ 63,546	30 Zn ЦИНК 65,38	31 Ga ГАЛЛИЙ 69,72	32 Ge ГЕРМАНИЙ 72,59

**СПРАВОЧНИК
ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ
ПОИСКАМ
ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ**

1990



СПРАВОЧНИК



В.Л. БАРСУКОВ
С.В. ГРИГОРЯН
Л.Н. ОВЧИННИКОВ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ
ПОИСКОВ
РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1981

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

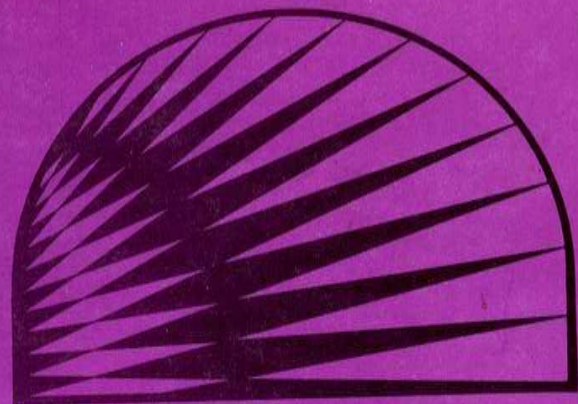
С.В. ГРИГОРЯН

ПЕРВИЧНЫЕ
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ
ОРЕОЛЫ

ПРИ ПОИСКАХ
И РАЗВЕДКЕ
РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ



1987



С.В. ГРИГОРЯН
**РУДНИЧНАЯ
ГЕОХИМИЯ**

1992

В.Г. Ворошилов

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2011

Прикладная геохимия – применение законов и выводов геохимии к проблемам практического характера (конкретные задачи обеспечения экономики страны и развития минерально-сырьевой базы, проблемы экологии) - **Applied Geochemistry, Exploration Geochemistry**

Разделы прикладной геохимии:

- Геохимические поиски
- Геохимия минерального сырья
- Геохимические методы в решении проблем окружающей среды (экогеохимия, геохимия техногенеза и др.).

- Главное практическое применение геохимия приобрела при поисках минерального сырья (поисковая геохимия). *Геохимические методы поисков полезных ископаемых оформились в самостоятельную прикладную науку с хорошо развитой теорией и разнообразной методикой.*
- Геохимия месторождений полезных ископаемых (совокупность процессов концентрации и рассеяния элементов в пространстве рудного поля месторождения). Выявление и количественная характеристика **ассоциации элементов** в минералах и рудах.

- Цель поисковой геохимии – систематическое обнаружение и изучение аномально повышенного содержания элемента(-ов), связанного с рудной минерализацией.



- Довольно часто на отдельных участках земной коры в коренных породах, почвах, растениях, водах, атмосфере ряд элементов накапливается совместно.
- В таких случаях говорят об **ассоциациях элементов**, находящихся в повышенных концентрациях, или просто об **ассоциациях элементов**, подразумевая, что их содержание превышает обычное, характерное для изучаемых объектов.
- Совместное накопление элементов может объясняться общностью условий миграции, обусловленных внутренними и внешними факторами.

- **Ассоциация элементов** — совокупность элементов, ионов или их соединений, свойственная определенной геохимической или гидрогеохимической обстановке.
- Выделяются **парагенетические ассоциации**, характеризующиеся единым процессом образования элементов или насыщения ими водных растворов и **негативные**, которые невозможны в данной системе или физико-химической обстановке.

- Когда влияние оказывают сходные внутренние факторы, то ассоциации элементов сохраняются в широком диапазоне различных геологических и ландшафтно-геохимических условий.
- Ассоциации, связанные с радиоактивным распадом: U-Pb-He; Th-Pb-He; K-Ar.
- Внешние факторы ограничивают область нахождения ассоциации элементов.
- Au-Cu-As-Pb-Zn-Fe типична только для золотосульфидных руд.
- Au-As-Fe, Cu-As-Zn-Au-Fe возникают при выветривании этих руд.

- Для ультраосновных пород характерна ассоциация
- **Mg, Cr, Ni, Co, Fe, Mn, Pd, Pt;**
- для пегматитов
- **K, Rb, Li, Cs, Be, REE, Zr, Nb, Ta, F, B;**
- для многих экзогенных урановых руд
- **Mo, Se, V, Re.**
- Примером **отрицательного** парагенезиса служат
- **Ni** и **Ba** в минералах,
- **Cr** и **U** в рудах,
- **Cu** и **Mn** в осадочных формациях.

Главные ассоциации элементов

Group	Associations
General Associations	K-Rb Ca-Sr Al-Ga Si-Ge Zr-Hf REE-La-Y PGM
Igneous Rocks	
Felsic	Si-K-Na
Alkaline	Al-Na-Zr-Ti-Nb-Ta-F-P-REE
Mafic	Fe-Mg-Ti-V
Ultramafic	Mg-Fe-Cr-Ni-Co
Some pegmatites	Li-Be-B-Rb-Cs-REE-Nb-Ta-U-Th
Some Skarns	Mo-Sn-W
Potash Feldspars	K-Ba-Pb
Other potash minerals	K-Na-Rb-Cs-Tl
Ferromagnesian Min	Fe-Mg-Mn-Cu-Zn-Co-Ni
Sedimentary Rocks	
Fe-oxides	Fe-As-Co-Ni-Se
Mn-oxides	Mn-As-Ba-Co-Mo-Ni-V-Zn
Phosphorite	P-Ag-Mo-Pb-F-U
Black Shales	Al-Ag-As-Au-Bi-Cd-Mo-Ni-Pb-Sb-V-Zn

Таблица 3.3. Ассоциации элементов, находящихся в повышенных концентрациях в коренных породах на месторождениях полезных ископаемых

Окончание табл. 3.3

Тела полезных ископаемых	Ассоциации элементов, находящихся в повышенных содержаниях
1	2
Магматические месторождения:	
Хромитовые	Cr, Fe, Mg, (Pt, Al)
Платиновые	Cr, Fe, Pt, (Os, Ir), Mg
Титаномagnetитовые	Fe, Ti, V
Апатит-магнетитовые	Fe, F, P, Ca, (Zr)
Редких земель	Ti, Nb, Zr, Ta, Ge, P, Al, F, (TR), Na
Медно-никелевые (сульфидные)	Ni, Cu, (Pt, Pd, Co)
Алмазные (кимберлиты)	C, Cr
Апатитовые	P, Ti, U, Zr, Th, Be, F, Cl, Sr, Nb, Ta, TR
Карбонатитовые месторождения:	
Редких земель	Na, Ga, Ge, La, Nb, Ti, Ta (TR), Mg, Zr, F, Ca
Апатитовые	P, Ca, Mg, F, Sr, Ba, TR, Ti, Zr, Nb, Ta, Cu, Mo
Пегматитовые месторождения:	
Вольфрамотитовые	W, Li, Sn
Моначитовые	TR цериевой группы, Th
Берилло- и топазоносные	F, B, Cl, Li, Pb, Cs, Ti, Nb, Ta, TR
Скарновые месторождения:	
Железорудные	Fe, Ca, Al, Si
Медные	Cu, Fe, Ca, Al, Si, (Mo, Co), (Pb, Zn)
Молибденово-вольфрамовые	Mo, W, Fe, Ca, Al, Si
Свинцово-цинковые	Pb, Zn, Fe, Cu, Ag, Bi, Al, Si
Оловорудные	Sn, Fe, Cu, (Mo, As, Zn, Pb, Bi, Ag, W), Si
Бериллиевые	Be, Fe, Mn, Si, Al, (Sc), W
Борные	B, Mg, Fe
Альбитит-грейзеновые месторождения:	
Редких земель, альбититовые	Be, Li, Rb, Ta, Nb, Zr, TR иттриевые и цериевые Na, K, Al, Si
Грейзеновые:	
несульфидные	Sn, W, Li, Be, Si, Al, Sn, W, Mo; Mo, Be, Li; W, Mo, Be, F; Si
сульфидные	Al, (Fe, Cu, As, Bi, Zn, Pb)
Гидротермальные месторождения:	
Кварцевого парагенезиса	Au, As, Fe, Bi, Mo, W, U, Si, Cu
Сульфидного парагенезиса:	
свинца и цинка	Pb, Ba, Zn, Cu, Fe, U, Mo
пятиэлементной формации	Co, Bi, Ni, Ag, Ca, Ba, U, F, As, Fe, (Pb, Zn, Cu)
касситерита	Sn, Pb, Zn, Fe, W
Карбонатного парагенезиса:	
железа	Fe, Mg, Ca, (Cu, Pb)
марганца	Mn, Mg, Ca, (Fe, Ba)
магния	Mg, Ca
Колчеданные	Fe, Cu, S, Zn, Pb, (Au, Ba)
Графитсодержащие	C, Mg, Fe, Ti, Y, (Cu, Zn)

1	2
Стратифицированные месторождения:	
Медные	Cu, Fe, (Pb, Zn, Ag)
Свинцово-цинковые	Pb, Zn, Ag, Fe, Mg, (Ba, F)
Осадочные месторождения:	
Борные	B, Mg, K
Железные	Fe, Mn
Марганцевые	Mn, Fe
Алюминиевые	Al, Fe
Метаморфогенные месторождения:	
Марганцевые	Mn
Железистые кварциты	Fe
Титановые	Ti, Fe
Месторождения выветривания:	
Остаточные:	
силикатно-никелевые	Ni, Mg, Al, (Co, Mn)
железистые	Fe, Mg, Mn, Co, Ni, Cr
алюминиевые	Al, Fe, Mn
Инфильтрационные урановые	U, Re, V, Cu

Ассоциации
элементов,
находящихся в
повышенных
концентрациях в
коренных породах на
МПИ

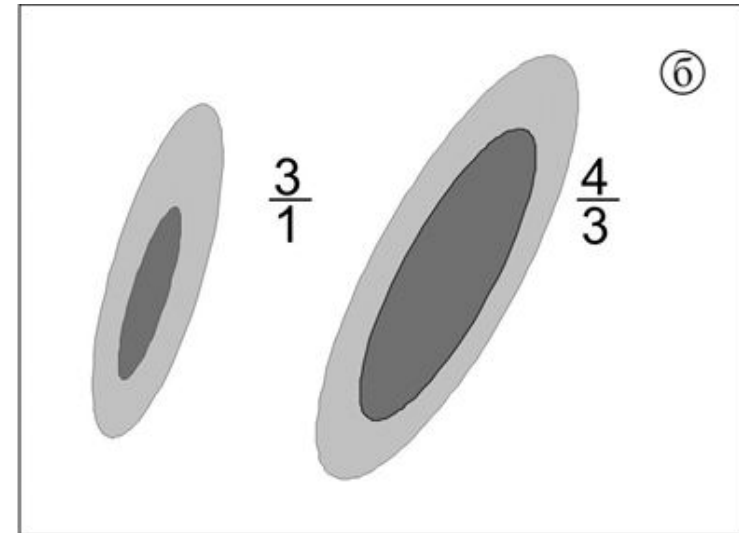
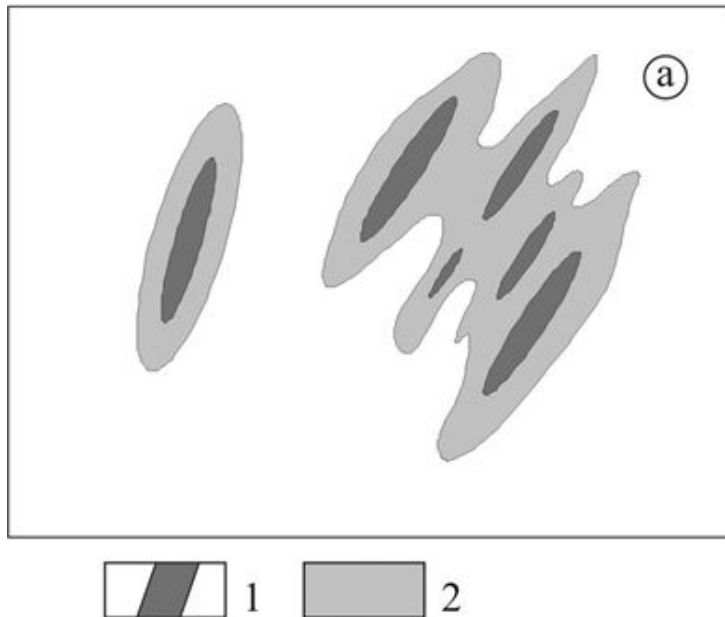
- **Геохимические индикаторы** – элементы (их соединения), по изменению особенностей распределения которых в различных геологических объектах ведутся поиски полезных ископаемых геохимическими методами.
- **Индикаторы**, которые соответствуют основным элементам, слагающим полезное ископаемое, называют **прямыми**.
- Следует обращать внимание и на минералы, образованные данными элементами.
- Геохимические индикаторы, являющиеся «спутниками» полезных компонентов, называются **косвенными индикаторами**. Ими могут быть породообразующие элементы (например, Si).

Класс месторождений	Формации	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Молибден					
Скарновый	Шеелит-молибденовая и халькопирит-магнетит-молибденитовая	W, Mo, Fe, Cu	Zn, Pb, As, Sb (Bi, Au, Ag)	Известковые скарны	Гранитоиды
Грейзеновый		Mo, W	Bi, Sn, Fe, Cu, Zn, Pb, B, Be	Грейзенизация	Аляскитовые граниты
Плутоногенный гидротермальный	Кварц-молибденитовая	Mo (W)	Sn, W, Fe, As, Bi, Cu, Zn, Pb, B, Sb	Полевошпатовые, кварц-полевошпатовые метасоматиты	Биотит-роговообманковые и биотит-мусковитовые граниты
	Кварц-молибденит-серицитовая (молибденпорфировый)	Mo, Fe	Cu, As, Sb, Pb, Zn	Калишпатизация, серицитизация, аргиллизация, пропилитизация	Приурочены к дайкам и штокам гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров, сиенит-порфиров, монцонит-порфиров
	Кварц-молибденит-халькопирит-серицитовая (медно-молибденпорфировый)	Mo, (Cu), Fe	Cu, As, Sb, Pb, Zn, Au, Ag	Калишпатизация, серицитизация, аргиллизация, пропилитизация	— » —
Вулкано-генный гидротермальный	Уранинит-молибденитовая	U, Mo	Fe, As, Cu, Sb, B, Ti	Березитизация	Штоки, нежки, купола, толщи дацитового, трахиандезитового, фельзитового состава
Литий					
Пегматитовый	Литиеносные	Li, Sn, Ta, Be, Cs		Сподуменовые пегматиты	Приурочены к массивам основных пород

- В основе **ПОИСКОВОЙ ГЕОХИМИИ** лежит концепция, рассматривающая процесс образования месторождений как единственно возможный переход металлов от изначально рассеянного состояния в земной коре и мантии к концентрированному состоянию с многоступенчатой дифференциацией, приводящей к обязательному образованию **первичных геохимических ореолов**.

Понятие о первичных геохимических ореолах

- Первичный геохимический ореол рудного тела представляет собой окаймляющую рудное тело зону рудовмещающих пород, обогащенную или обедненную теми или иными элементами в результате их привноса, выноса или перераспределения в процессе рудообразования.



а) морфология первичных ореолов; б) соотношения объемов первичных ореолов и рудных тел; 1 – рудные тела; 2 – первичные

- **Геохимическое поле** – геологическое пространство, охарактеризованное цифрами содержания химического элемента как функциями координат и времени.
- **Геохимический фон** – среднее (модальное) содержание химического элемента в пределах геохимически однородной системы. Область фоновых содержаний – нормальное геохимическое поле.
- **Геохимическая аномалия** – область содержания элемента, отличающаяся от фона. **Положительные** (*концентрация вплоть до месторождения полезных ископаемых*) и **отрицательные** аномалии.



Рис. 3. График геохимического опробования по профилю

Геохимические аномалии делятся на **рудные** и **безрудные** (не имеющие связи с оруденением)

Ложные аномалии

- Pb и Zn в перекрывающих доломиты суглинках
- Cu, Ni, Cr, Co в почвах, связанных с выветриванием у.о.
- При различии пород и их разной устойчивости к агентам выветривания

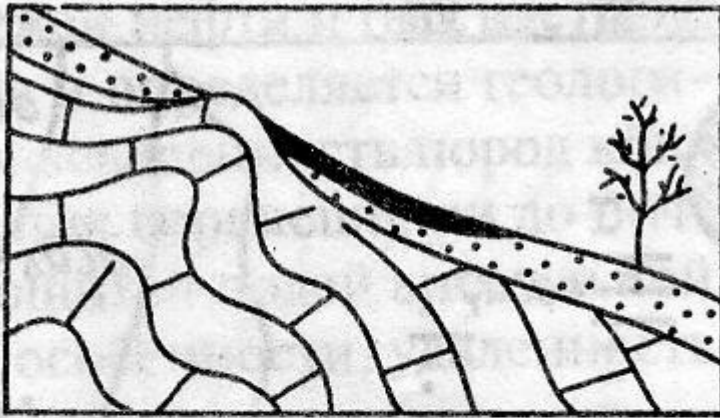


Рис. 7.4. Ложная аномалия Pb и Zn в эоловых суглинках на участке Коксу (Южный Казахстан):

1 — суглинки с пониженным содержанием металлов; 2 — известняки и доломиты; 3 — зона обогащения суглинков металлами

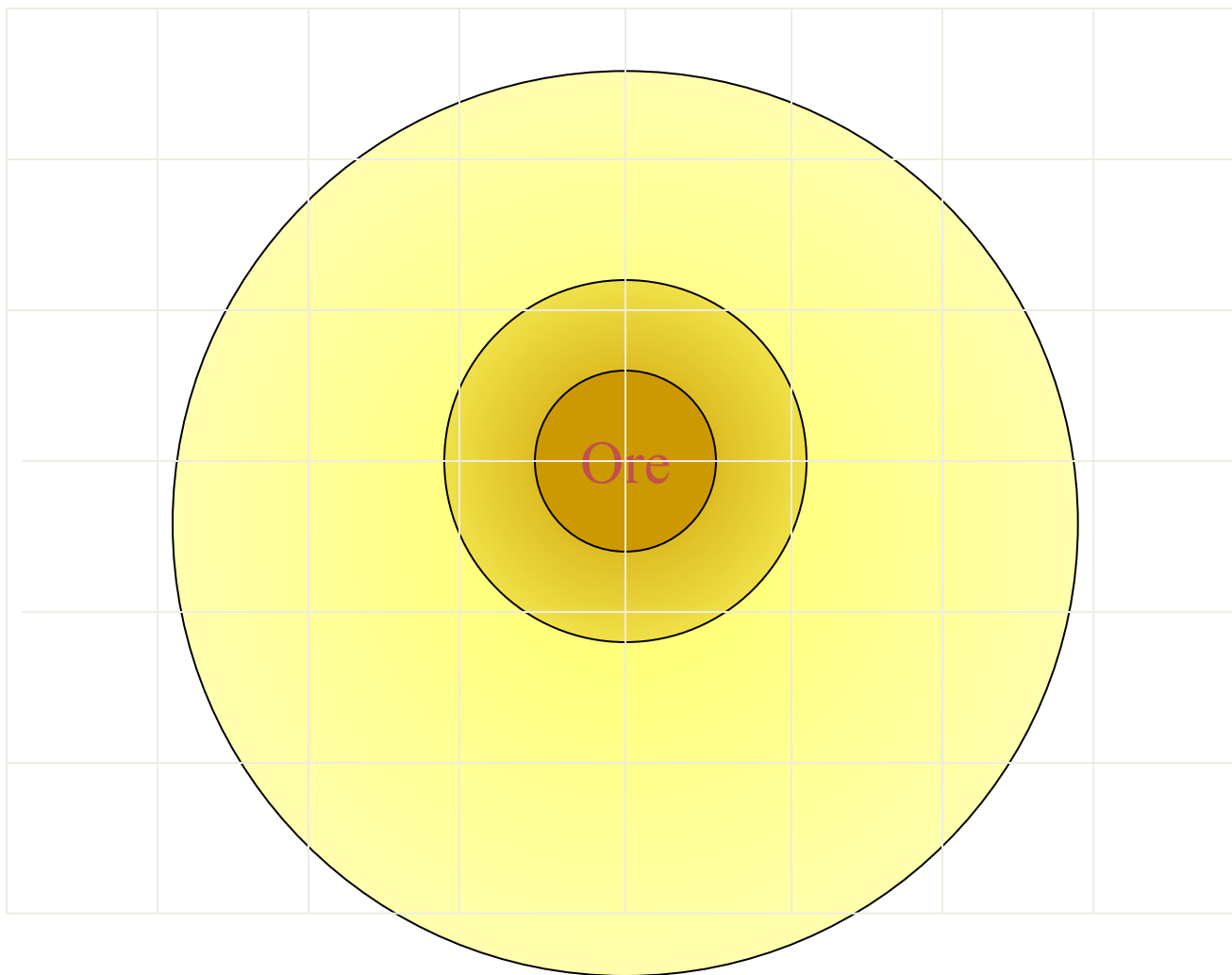
- Часть месторождения, в которой содержание элементов допускает их эксплуатацию, называется **рудным телом** или залежью полезного ископаемого.
- **Руда** – само вещество с кондиционным содержанием элемента.
- Остальная часть поля концентрации – это **первичный геохимический ореол месторождения**.
- Он образуется одновременно с рудным телом и в результате тех же процессов.
- Граница между рудным телом и первичным ореолом условна.

- **Первичный ореол рассеяния** - зона рудовмещающих пород, окружающих месторождение (как правило, **эндогенное**), обогащенная в процессе рудообразования рядом химических элементов (результат привноса или перераспределения).
- По отношению к вмещающим породам первичный ореол рассеяния может быть **сингенетическим** и **эпигенетическим**.
- Первые характерны для магматических и *осадочных* пород, вторые - для пегматитовых и постмагматических (гидротермальных) месторождений.

- В **сингенетических ореолах** распределение элементов характеризуется плавным возрастанием концентраций рудообразующих компонент по мере приближения к рудным телам.
- В **эпигенетических ореолах** распределение элементов происходит сложным образом и отмечается определенная геохимическая зональность.
- П.о.р. имеют важное значение при поисках слепых месторождений. Различают **макроореолы**, в которых рудное вещество устанавливается невооруженным глазом, и **микроореолы** - с рудным веществом, неразличимым невооруженным глазом. По **форме** участков или зон ореолов рассеяния

- Наряду с первичными ореолами, окаймляющими концентрированное оруденение, часто встречаются геохимические аномалии на удалении от рудных тел, представленные зонами рассеянной рудной минерализации.
- Геохимическая аномалия $\neq$ первичный ореол
- Вокруг рудных тел и месторождений формируются ореолы и **привноса**, и **выноса** химических элементов. Ореолы привноса изучены детальнее. Они образованы **индикаторными элементами** – типоморфными для рудных тел.

Мобильность – характеристика элемента,
отражающая способность выборочно
рассредоточиваться относительно матрицы



Mobility of The Elements

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	⌘	8B	⌘	1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Transition Metals										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra																

Lanthanides (Rare Earth Elements)

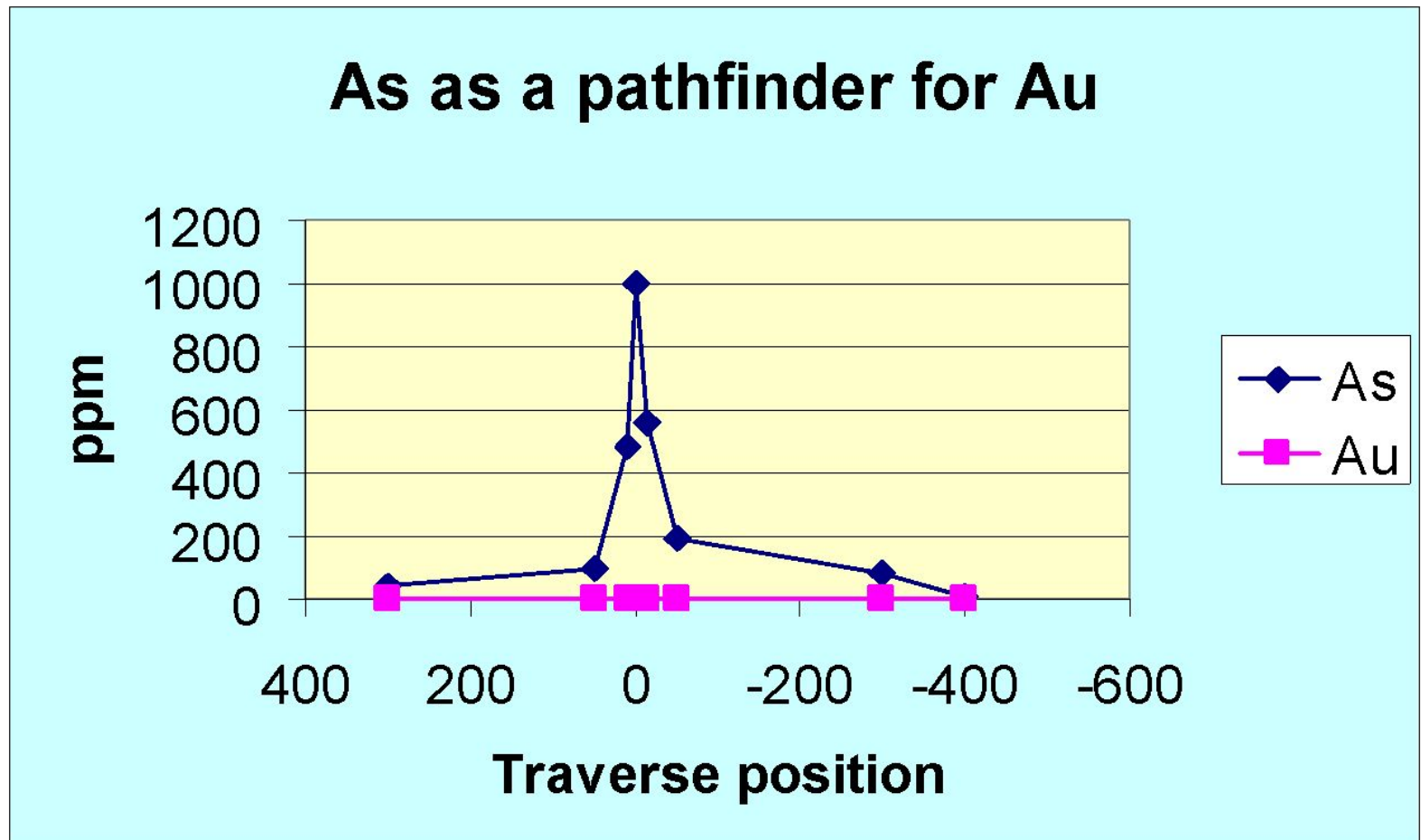
Ce	Pr	Nd		Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U											

Actinides

K	< 0.1 immobile	0.1 – 1 slight	1 – 10 moderate	>10 high
---	----------------	----------------	-----------------	----------

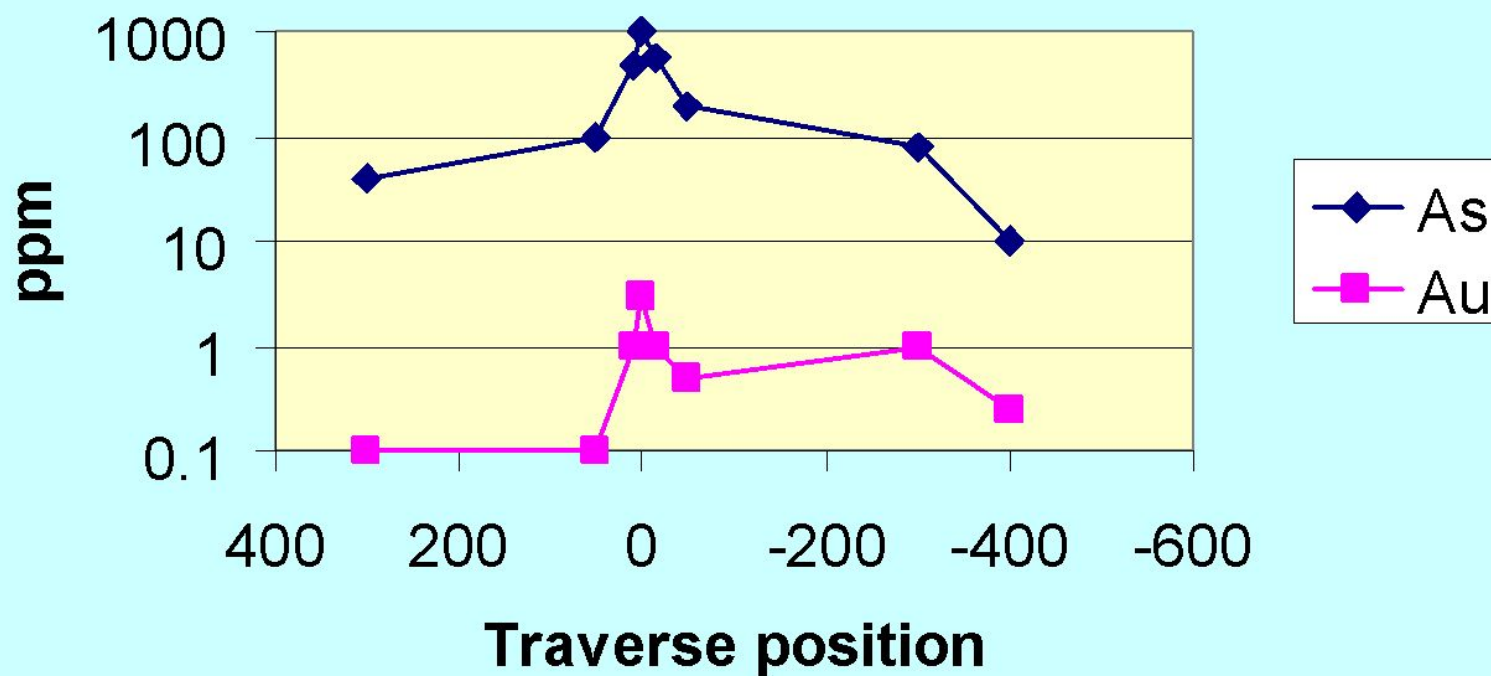
Oxidizing pH < 4 Fe(II) reducing uncertain? Radioactive acidic oxidizing or reducing

Индикаторные элементы (элементы-спутники) – более мобильны, контрастней распределение и легче измерять содержание



As -спутник Au

As as a pathfinder for Au log scale



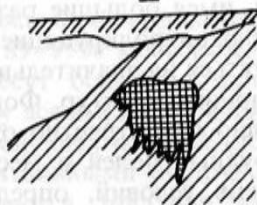
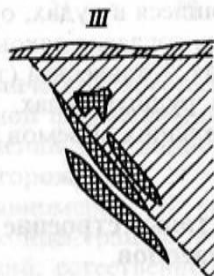
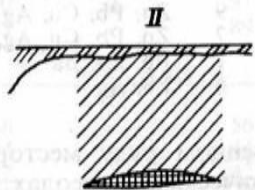
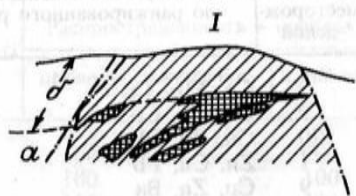


Рис. 5. Соотношение запасов металлов в рудных телах (принятых за единицу) и первичных геохимических ореолах Маднеловского (I), Лениногорского, Быструшинская залежь (II), Гайского (III) и Озерного (IV) месторождений:
1 – площадь ореола, в пределах которой подсчитывались запасы; 2 – рудное тело; зоны: а – подрудная, б – надрудная

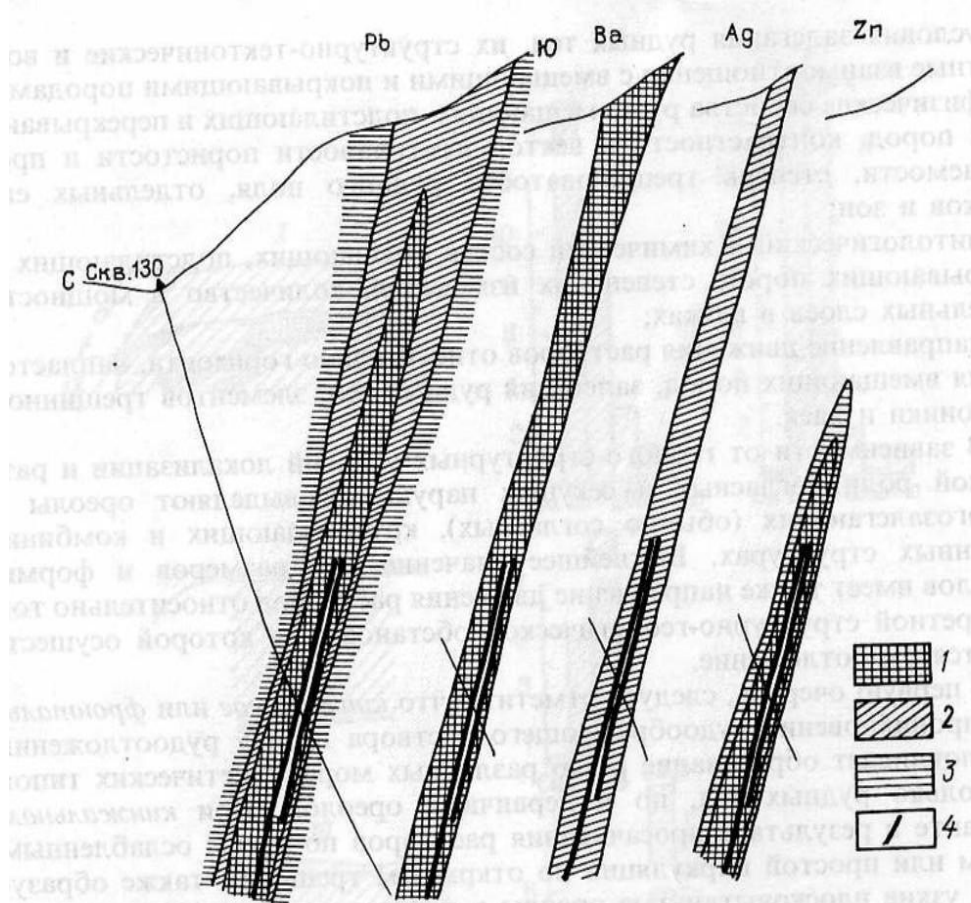
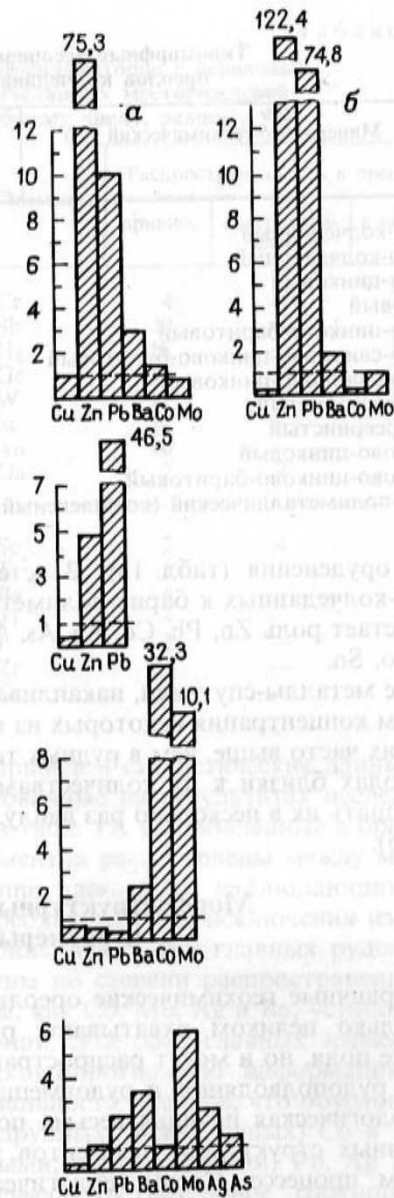


Рис. 6. Первичные геохимические ореолы Pb, Ba, Ag и Zn. Разрез полиметаллического месторождения Яман-Сай. По Г.Э. Федотовой.
1–3 – убывающие градации содержаний индикаторов в ореоле; 4 – рудное тело

Соотношение первичных ореолов и рудных тел

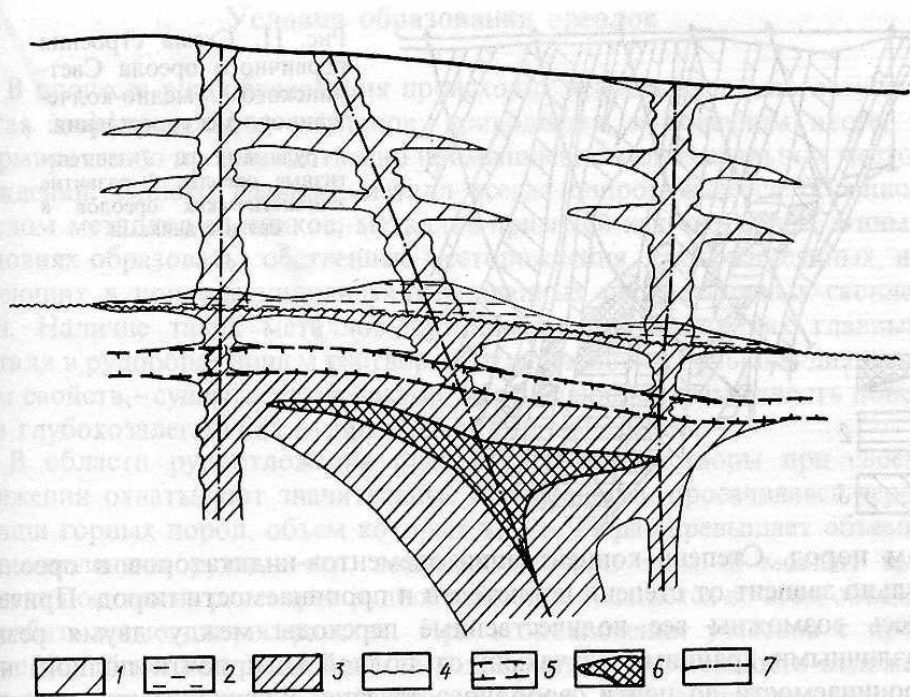
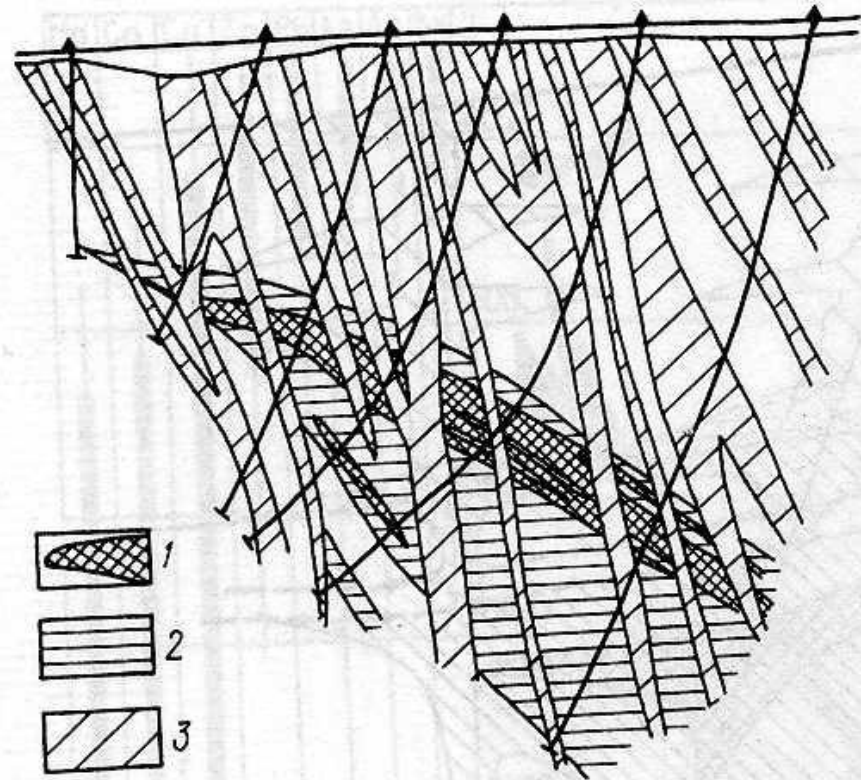
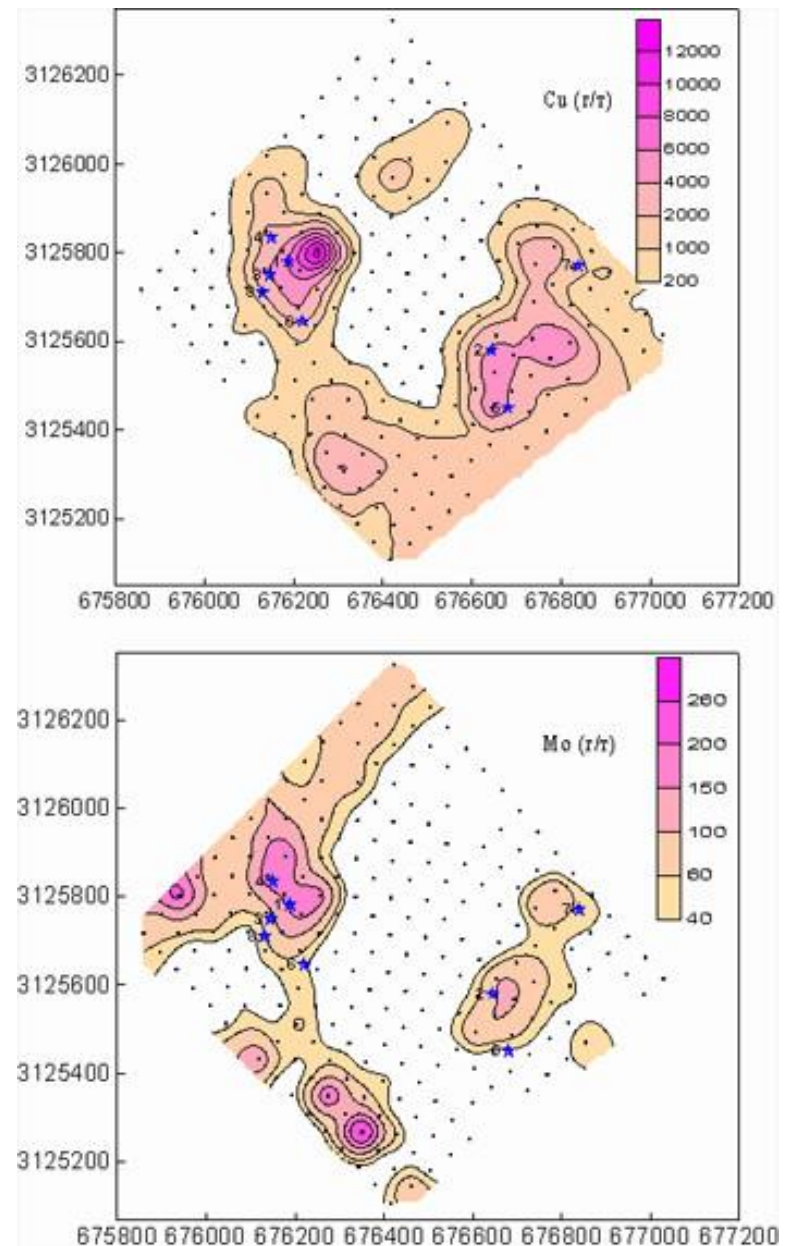


Рис. 10. Схема строения комплексного первичного ореола Подольского медноколчеданного месторождения. По Э. Н. Баранову.

Ореолы: 1 – эпигенетические, 2 – конседиментационные, 3 – сингенетические; 4 – граница структурных ярусов; 5 – контуры экранирующего субвулканического тела; 6 – рудная залежь; 7 – разрывные нарушения



Сингенетические и эпигенетические ореолы

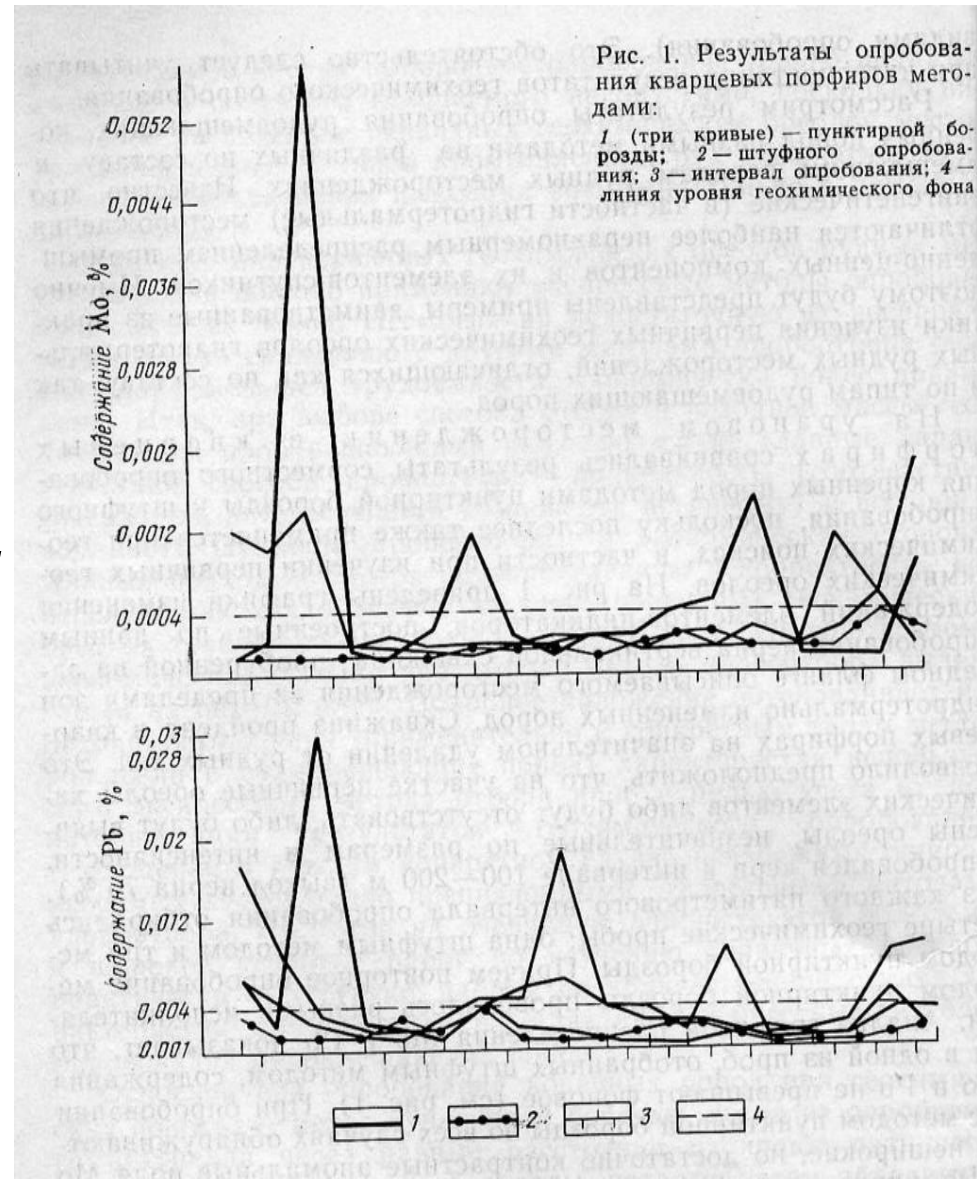


Первичные ореолы Cu и Mo

Методика изучения первичных геохимических ореолов

- 1. **Опробование** – бороздовое, метод пунктирной борозды, штупное опробование.

На первом месте при выборе метода экономическая целесообразность.



- **2. Анализ проб** разнообразными аналитическими методами.
- **3. Оконтуривание** первичных ореолов.
Проблема выбора «фоновых» участков для каждой группы рудовмещающих пород. Внешняя граница первичных ореолов проводится по величине минимально-аномальных содержаний элементов, рассчитанных с 5% уровнем значимости.

- **4. Метод суммарных ореолов.**

Установлено, что вокруг рудных тел можно выявить более контрастные геохимические ореолы, если суммировать содержание группы элементов-индикаторов.

Две модификации суммарных ореолов:

аддитивные и мультипликативные.

Аддитивные ореолы строят путем простого сложения содержания элементов-индикаторов, нормированных к среднефоновым содержаниям во вмещающих породах. *Более значительны по размерам и интенсивности.*

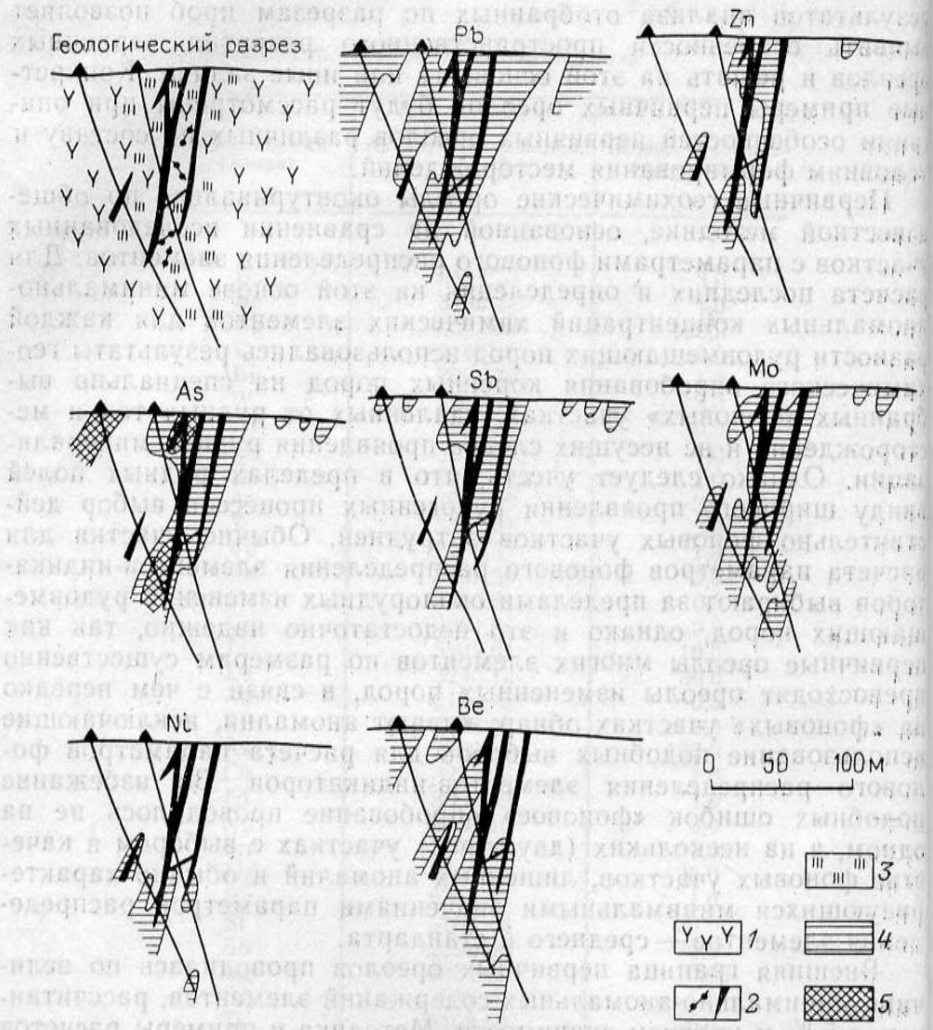


Рис. 4. Первичные ореолы в разрезе:
 1 — андезитовые порфиристы; 2 — рудные жилы; 3 — околорудные изменения; 4, 5 — первичные ореолы (5 — повышенных содержаний)

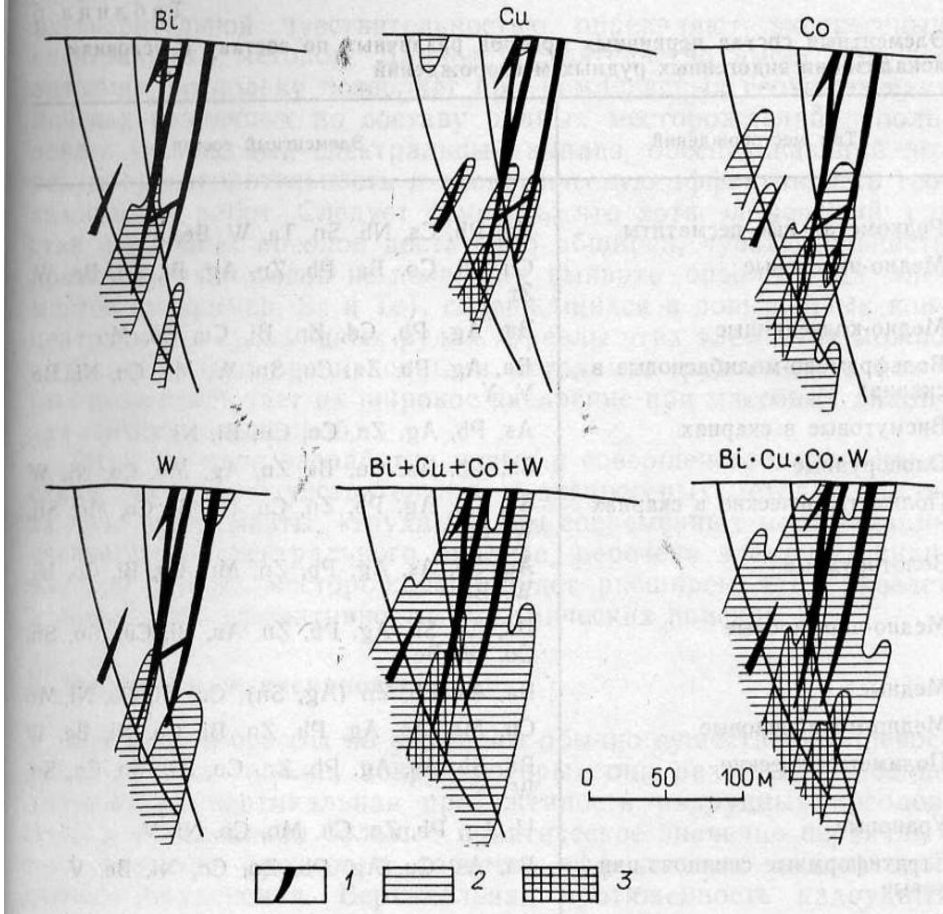
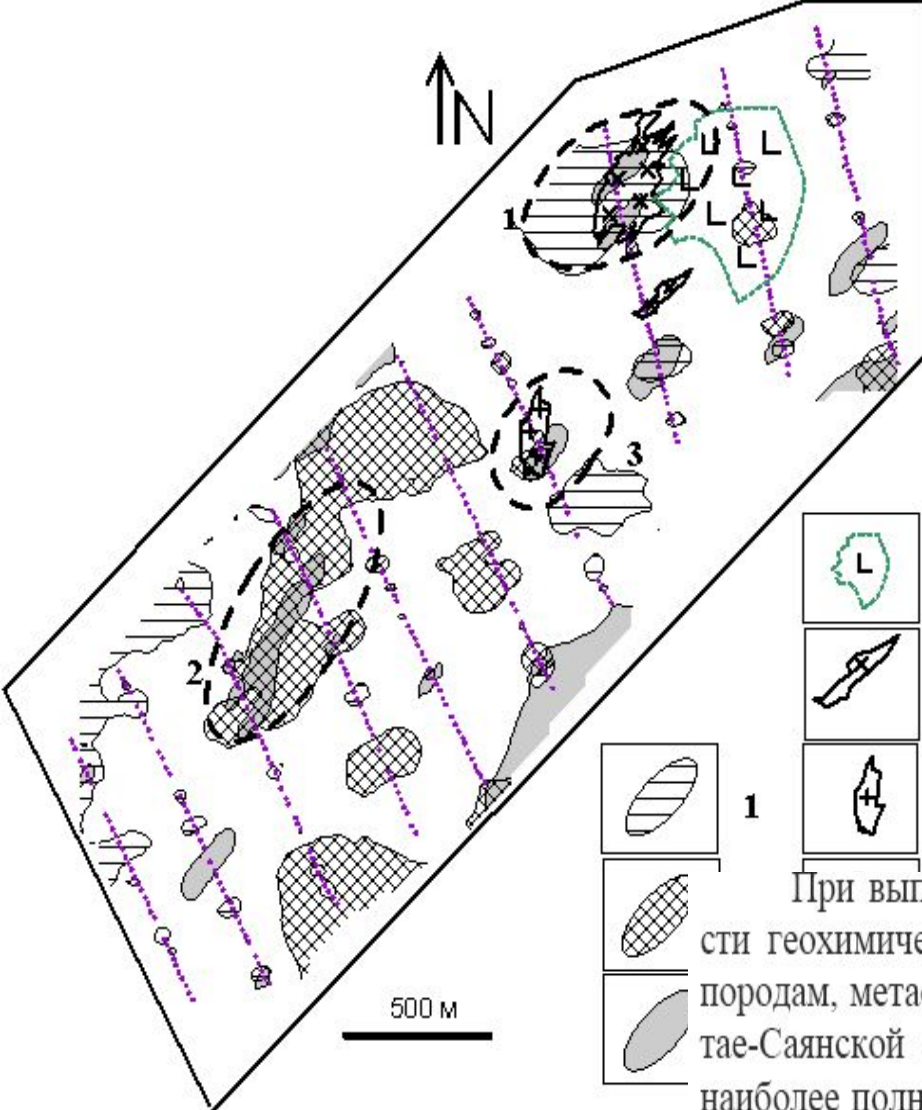


Рис. 5. Моноэлементные, аддитивные и мультипликативные ореолы в разрезе:
 1 — рудные тела, 2, 3 — первичные ореолы (3 — повышенных содержаний)

- **Мультипликативные ореолы** – перемножение содержания элементов-индикаторов. *Отпадает необходимость в нормировании на фон. Если содержание элемента b.d.l., то берется половина порога чувствительности анализа.*

Таблица 4. Величины коэффициентов аномальности элементов-индикаторов

Элементы-индикаторы и коэффициент зональности	Зона ореола			Элементы-индикаторы и коэффициент зональности	Зона ореола		
	внешняя (хлоритовая)	средняя (биотитовая)	внутренняя (грейзеновая)		внешняя (хлоритовая)	средняя (биотитовая)	внутренняя (грейзеновая)
Вольфрам	11,6	30,0	53,5	Медь	4,9	5,2	5,4
Молибден	1,1	4,6	113,9	Фтор	3,8	13,1	22,0
Висмут	2,2	3,1	7,0	Литий	2,6	5,4	22,1
Олово	1,1	1,3	5,7	Рубидий	3,03	5,76	24,8
Бериллий	2,5	5,0	22,0	Калий	2,0	2,37	5,45
Свинец	2,7	1,6	2,6	Натрий	6,1	6,4	3,5
Цинк	1,4	2,1	8,8	Cu·Pb·Zn·Bi	11,5	—	0,0005
				Sn·Be·Mo ²			



$\lg((\text{Sb}^2\text{PbCu})/(\text{AsMoWCo}))$
Савичева, 2007

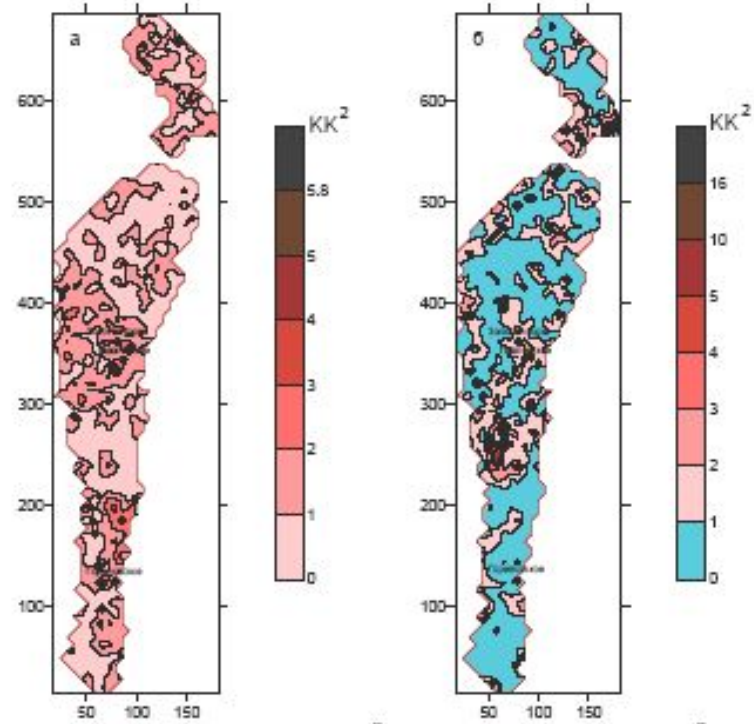


Рис. 4. Распределение значений мультипликативных показателей: а – свинец*мышьяк и б – медь*цинк на Талановско-Богородском участке.

а – Pb^*As и б – Cu^*Zn Гаврилов, 2006

При выполнении методических исследований по оценке неоднородности геохимического спектра были использованы данные по неизменным породам, метасоматитам и рудам различных площадей и месторождений Алтае-Саянской складчатой области. Геохимический спектр этих образований наиболее полно изучен с использованием комплекса аналитических методов: инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), рентгеноспектральный анализ (РСА), инструментальный вольтамперометрический метод (ИВАМ), атомно-адсорбционный анализ (ААА), эмиссионный спектральный полуколичественный анализ (ЭСПА) и др. Это позволило оценить содержание более 50 породо- и рудообразующих элементов, представляющих основные геохимические группы.

Элементный состав первичных ореолов различных по составу и условиям локализации эндогенных рудных месторождений

Тип месторождений	Элементный состав
Редкометалльные пегматиты	Zn, Rb, Cs, Nb, Sn, Ta, W, Be, As
Медно-никелевые	Cu, Ni, Co, Ba, Pb, Zn, Ag, Bi, Sn, Be, W, Zr
Медно-колчеданные	Ba, Ag, Pb, Cd, Zn, Bi, Cu, Co, Mo
Вольфрамово-молибденовые в скарнах	Ba, Ag, Pb, Zn, Cu, Sn, W, Mo, Co, Ni, Be, V, Y
Висмутовые в скарнах	As, Pb, Ag, Zn, Co, Cu, Bi, Ni
Оловорудные	Sn, Pb, As, Cu, Bi, Zn, Ag, Mo, Co, Ni, W
Полиметаллические в скарнах	Sb, Cd, Ag, Pb, Zn, Cu, Ni, Bi, Co, Mo, Sn, W, Be
Золоторудные	Au, Sb, As, Ag, Pb, Zn, Mo, Cu, Bi, Co, Ni, W, Be
Медно-порфировые	Ba, As, Sb, Ag, Pb, Zn, Au, Bi, Cu, Mo, Sn, Co, W, Be
Медные	Ba, As, Pb, Zn (Ag, Sn), Cu, Bi, Co, Ni, Mo
Медно-молибденовые	Cu, Mo, As, Ag, Pb, Zn, Bi, Co, Ni, Be, W
Полиметаллические	Ba, Sb, As, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Co, Sn, W
Урановые	U, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, V
Стратиформные свинцово-цинковые	Ba, As, Cu, Ag, Pb, Zn, Co, Ni, Be, V
Сурьмяно-ртутные	Sb, Hg, As, Cu, Ag, Pb, Zn, Be, Co, Ni, W, Sn
Ртутные	Hg, Ba, Ag, Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Sn, Mo, W
Общий перечень элементов-индикаторов	<u>Li</u> *, <u>Rb</u> , <u>Cs</u> , <u>Hg</u> , <u>Au</u> , <u>U</u> , <u>Ta</u> , <u>Sn</u> , <u>W</u> , <u>Be</u> , <u>Ba</u> , <u>Cd</u> , <u>Ag</u> , <u>Pb</u> , <u>Zn</u> , <u>Cu</u> , <u>Mo</u> , <u>Co</u> , <u>Ni</u> , <u>As</u> , <u>Sb</u> , <u>Zr</u> , <u>Nb</u> , <u>V</u> , <u>Y</u>

* Подчеркнуты элементы, требующие специальных методов анализа, так как приближенно количественный спектральный метод не позволяет получить удовлетворительные результаты.

Элементный состав ореолов

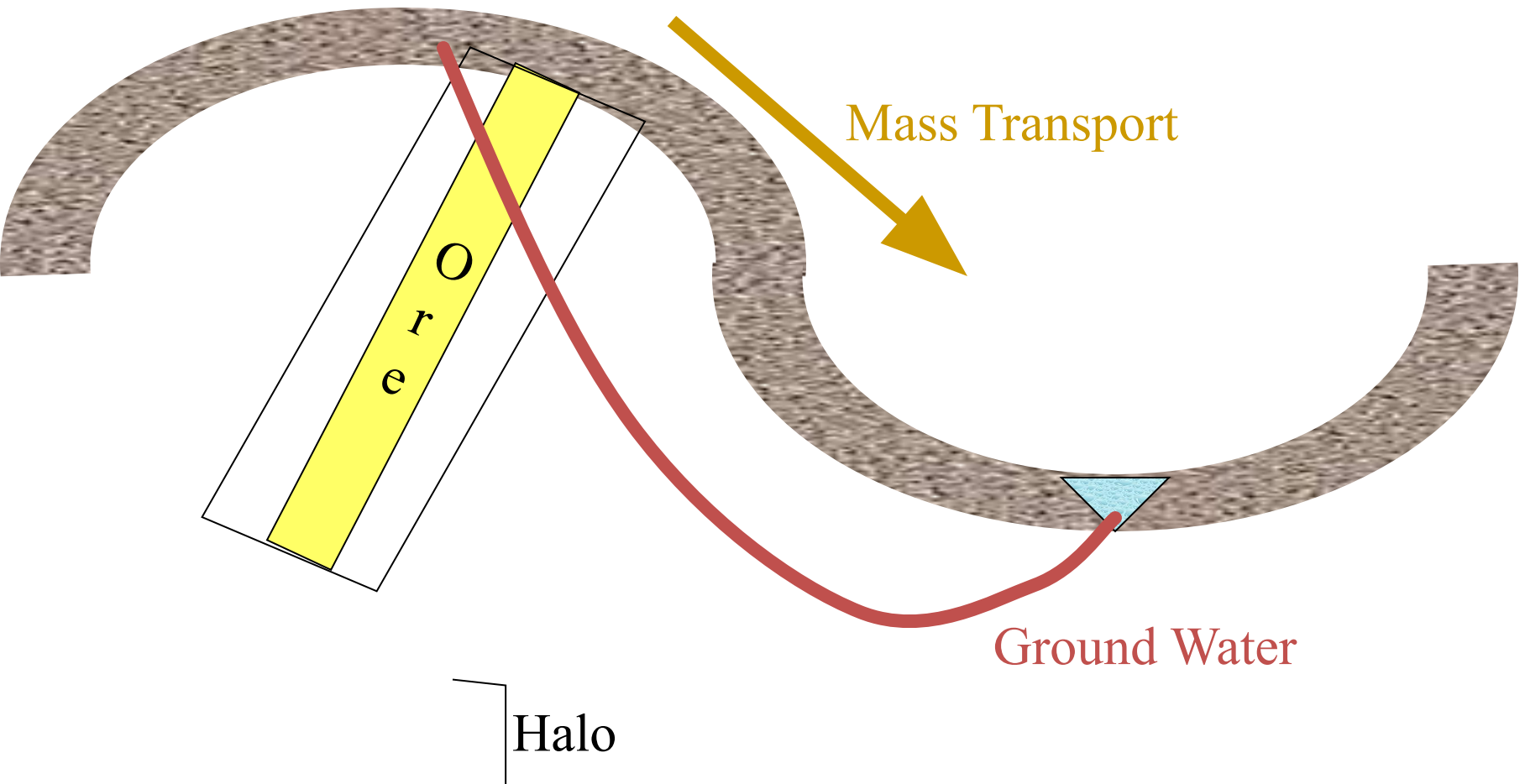
25 элемента-индикатора

Li, Rb, Cs, Hg, Au, U, Ta, Sn, W, Be, Ba, Cd, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, As, Sb, Zr, Nb, V, Y

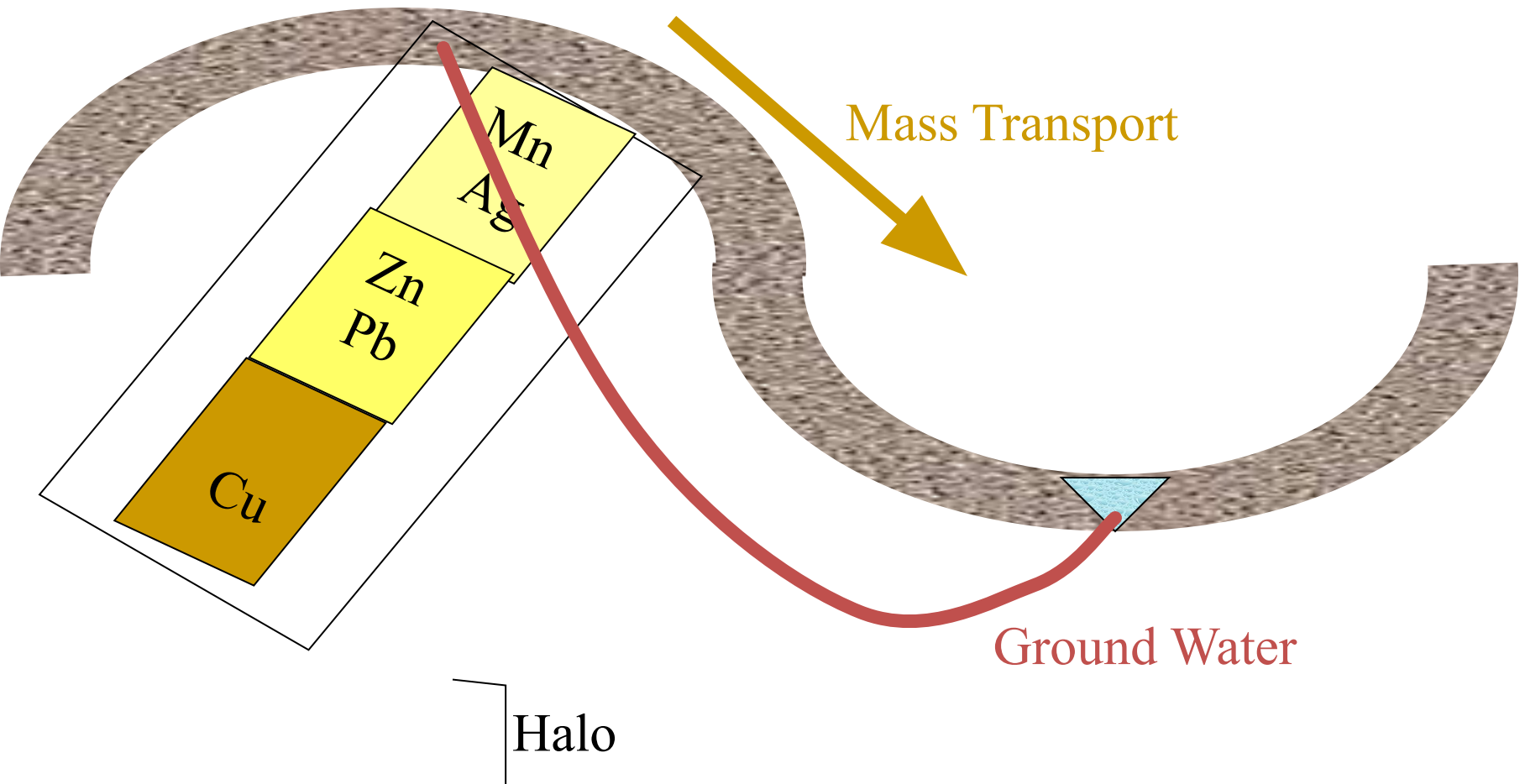
Размеры и интенсивность ореолов

- Первичные ореолы по размерам обычно существенно превосходят рудные залежи, вокруг которых они развиты.
- Особенно значительна вертикальная протяженность надрудных ореолов (сотни метров).
- Большое практическое значение в качестве эффективных индикаторов слепого оруденения.

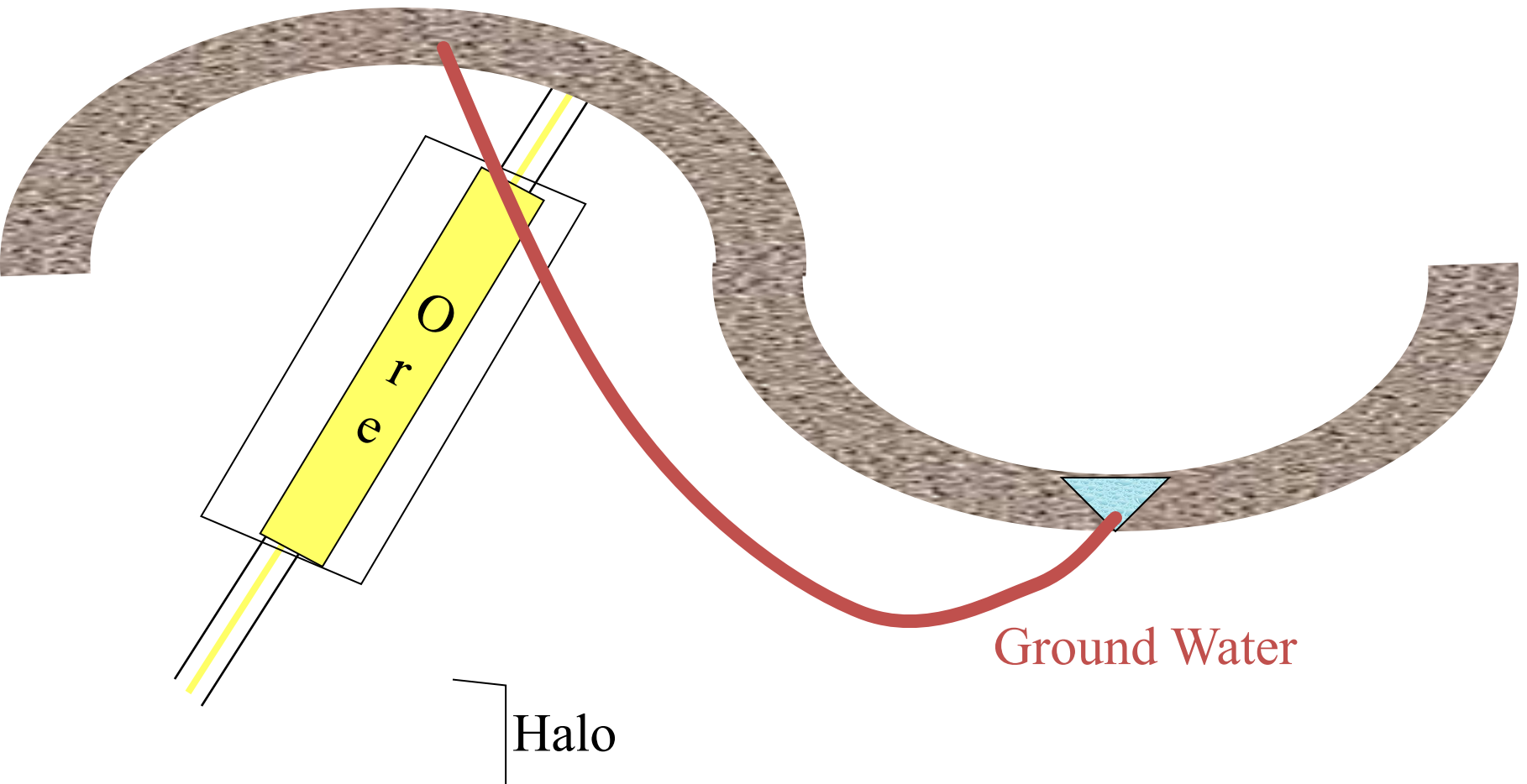
Exposed Ore



Zoned Ore

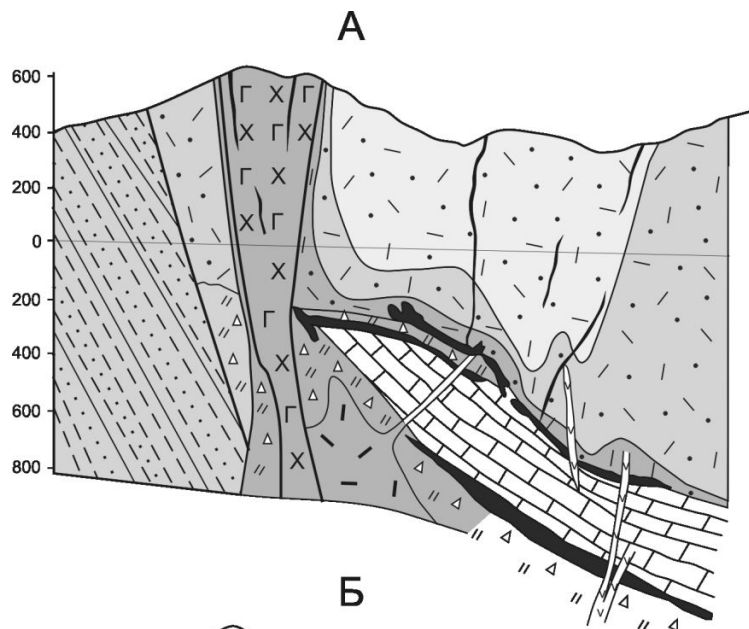


Blind Ore



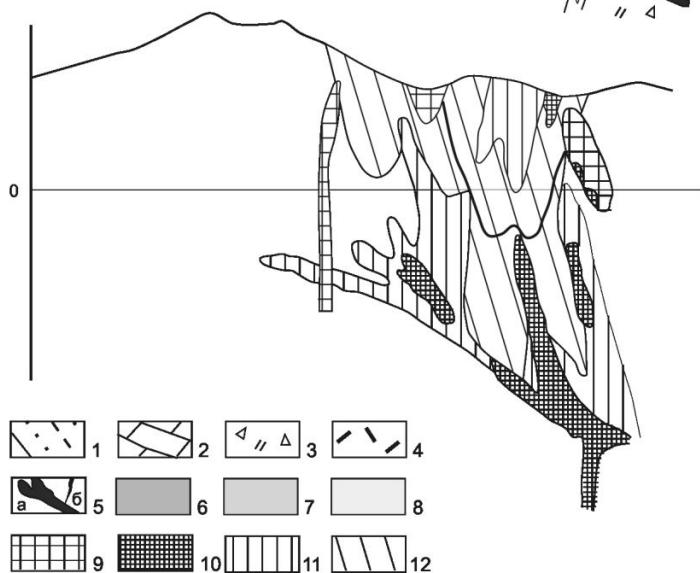
Морфология

- В большинстве случаев первичные ореолы развиваются согласно с рудными телами.
- Ореолы крутого падения и пологого залегания.
- Несогласное залегание. Николаевское месторождение – вокруг рудных тел пологого залегания развиваются первичные ореолы крутого падения (*в плане незначительно больше, чем рудное тело*).



Схемы метасоматической (А) и геохимической (Б) зональности Николаевского месторождения (разрез).

1 – терригенно-осадочные породы фундамента; 2 – олистолиты известняков; 3 – кремнистые брекчии; 4 – риолиты жерловой фации; 5 – рудные тела скарново-полиметаллического (а) и жильного (б) типов; фации метасоматически измененных пород: актинолит-хлорит-эпидотовая (6), эпидот-хлорит-серицитовая (7) и кварц-хлорит-гидрослюдистая (8); ореолы геохимических ассоциаций: Wo-Mo-Sn-Ag (9), Pb-Zn-Cu (10), Pb-Zn-Ag (11) и Pb-Ag-Sn (12)



(Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.И. Ханчука. – Владивосток : Дальнаука, 2006)

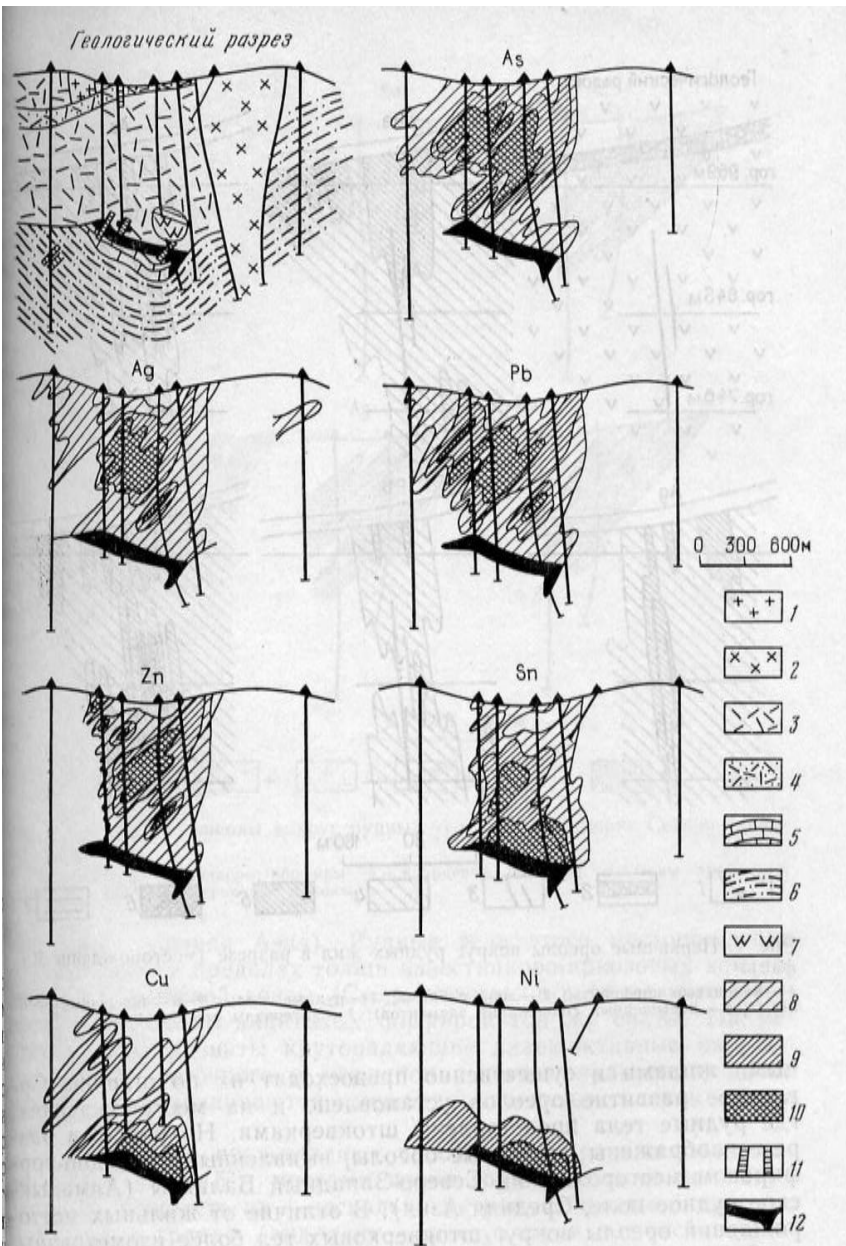
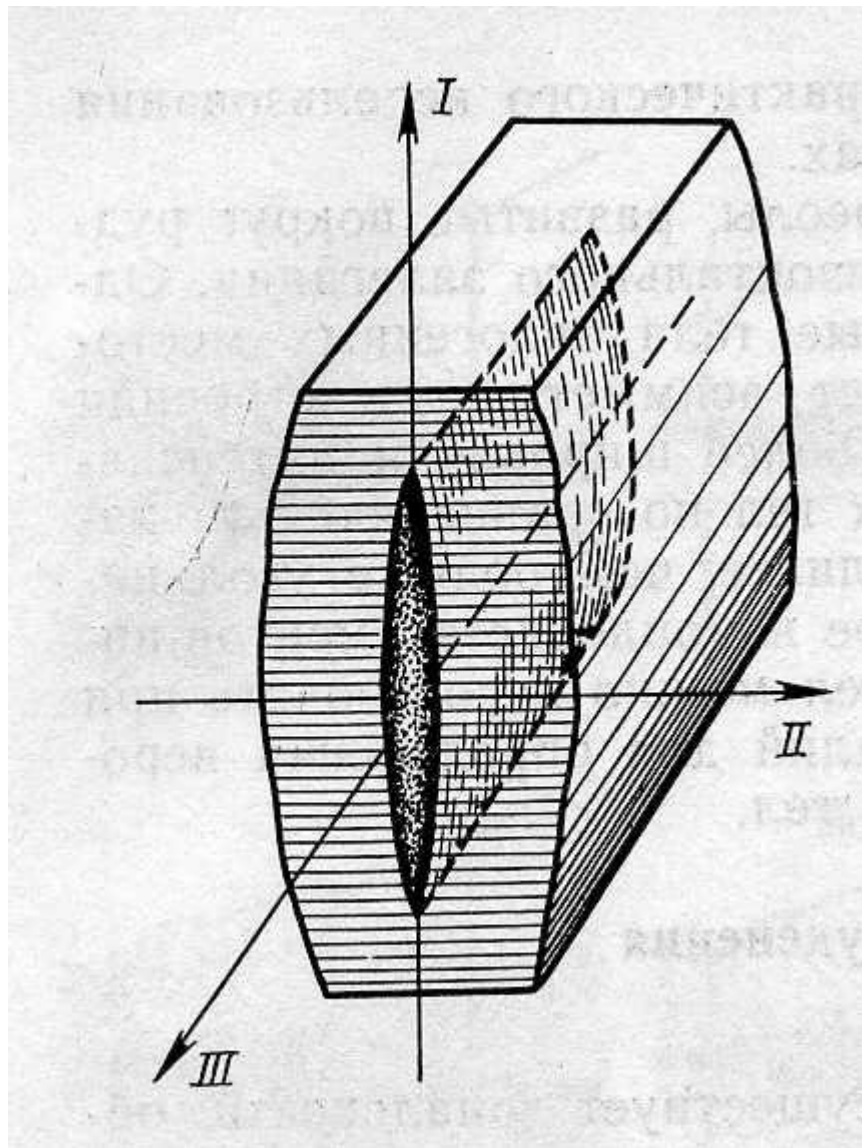


Рис. 6. Первичные ореолы элементов-индикаторов (Николаевское скарново-полиметаллическое месторождение):

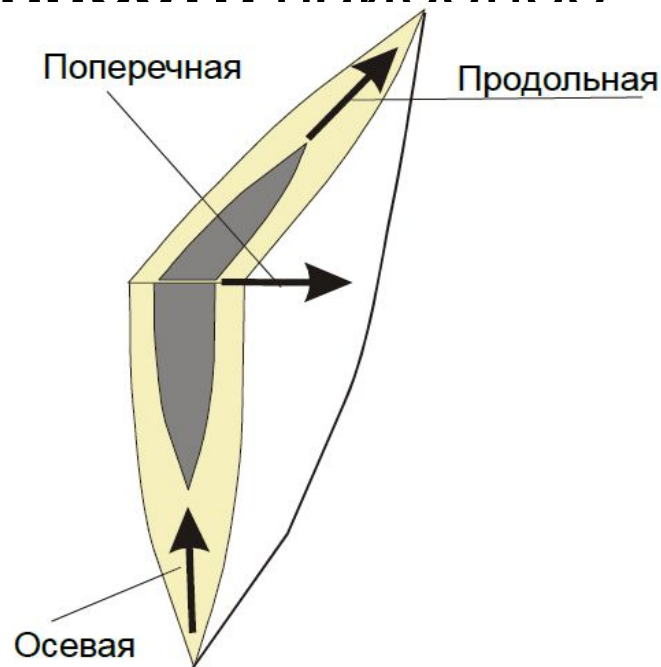
1 — кварцевые порфиры; 2 — габбродиориты; 3 — туфы и туфобрекчии кварцевых порфиров; 4 — туффиты; 5 — известняки; 6 — алевролиты и песчаники; 7 — кремнистые породы; 8–10 — первичные ореолы (10 — поля максимальных содержаний); 11 — дайки; 12 — рудные тела



Зональность первичных ореолов крутого падения



- Осевая (I), поперечная (II) и продольная (III) зональность.
- *Осевая или фронтальная* **зональность** наиболее важна



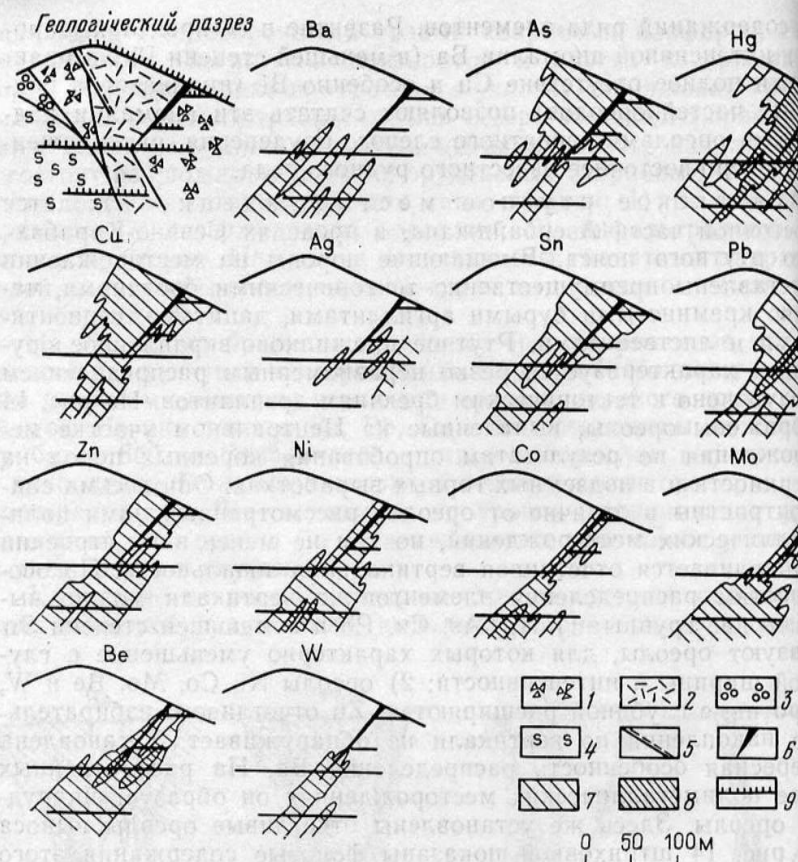
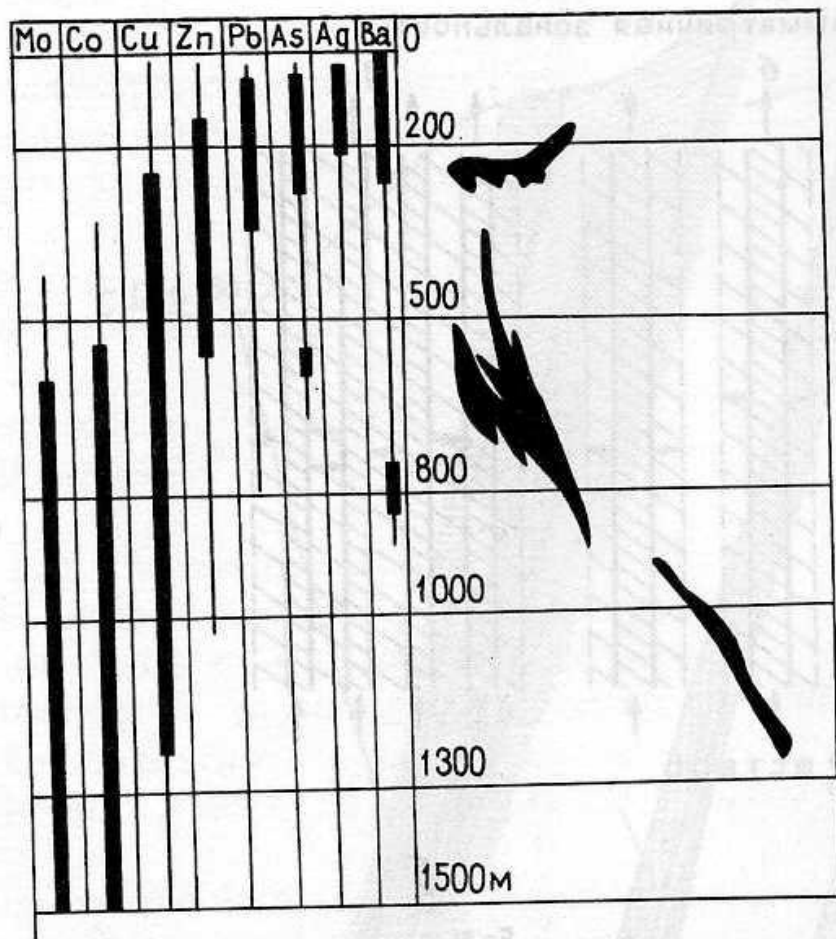
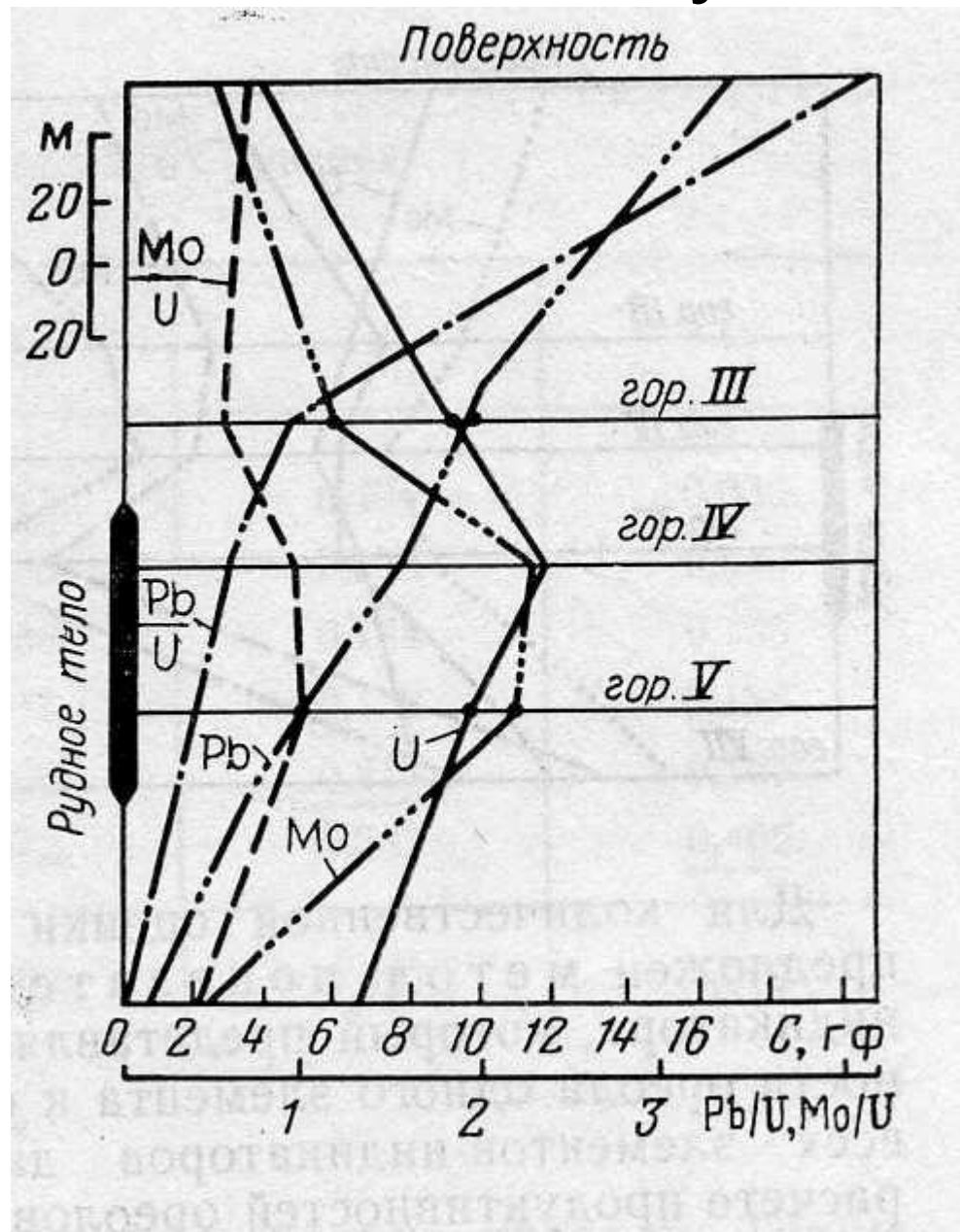


Рис. 14. Первичные ореолы в разрезе:

1 — брекчии; 2 — дациты; 3 — лигниты; 4 — габброидные породы; 5 — дизъюнкты; 6 — рудное тело; 7, 8 — первичные ореолы (8 — поля повышенной интенсивности); 9 — интервалы опробования

Вертикальная зональность имеет решающее значение при оценке уровня эрозионного среза геохимических аномалий. Ореолы пар Ba-Ag и Co-W зеркальны между собой.

Методы изучения зональности



- Эффективны индикаторные отношения с максимальными значениями градиента по вертикали.
- Пара Pb/U более контрастна с глубиной, чем Mo/U (для урановых месторождений).

Основные элементы-индикаторы различных типов месторождений

Тип месторождений	Ряды зонального отложения элементов-индикаторов
Апатитовые (Хибинь)	(Cu, Cr)*, (Ni, Pb, Zn, Co), Sn, (Sc, Yb), (Nb, Zr), P, (Ca, Mn), (Sr, Yb), Ba
Медно-никелевые: Кольского полуострова Норильского района	Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag, Ba Co, Ni, Cu, (Ag, Mo), Ba, Pb, (Ti, Sn)
Редкометалльные пегматиты	W, Nb, Ta, Sn, Cs, Rb, Li, As
Гидротермальные	
1. Вольфрамовые:	
скарново-шеелитовые	W, Ba, Sn, (Bi, Mo), Zn, (Pb, Ag)
грейзеновые	Mo, Be, Sn, Bi, W, (Zn, Pb, Cu)
кварц-форстеритовые	Bi, (Sn, Be), (Co, W, Zn)
кварц-шеелитовые	(W, Mo, Bi), Be, (Sn, Ag)
2. Оловорудные:	
касситерит-кварцевые	(As, Be, W), B, Sn, Cu, (Zn, Ag, Pb)
касситерит-сульфидные	(W, Mo, Co), (Sn, Cu), (Zn, Ag, Pb)
3. Медно-колчеданные	Mo, Co, As ¹ , Cu, Zn, Pb, Ag, As ² , Ba
4. Полиметаллические:	
скарновые	(W, Mo), Co, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, (Sb, Ba)
жилые	Ni, Mo, W, As ¹ , Sn, Co, Cu, Zn, Pb, As ² , Sb
5. Золоторудные:	
высокотемпературные	(Be, W, Au, As ¹ , Ni, Co), Bi, Mo, Cu, (Pb, Ag, As ² , Sb)
среднетемпературные	(Co, W, Be), Bi, (Sn, Mo), Cu, Au, Zn, (Ag, Sb)
низкотемпературные	(W, Bi, Sn), Mo, (Cu, Zn), Pb, Au, (As, Sb), Ba, Hg
6. Медно-порфировые	(Be, W, Co, Sn), (Mo, Cu), Bi, Au, (Pb, Ag), Sb, As, Ba
7. Медные (жилые)	Co, Ni, Bi, Cu, (Sn, Ag), Zn, Pb, Ag
8. Урановые ** (настуран-сульфидной формации)	V, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag
9. Ртутные	(Sn, W, Ni, Co), (Bi, Mo), Cu, Zn, Pb, (Hg, As, Sb)
10. Сурьмяно-ртутные	(Ni, Co, W), Mo, Cu ¹ , Zn, Pb, Sn, Ag, (Sb, As), Hg
11. Стратиформные свинцово-цинковые	Be, Ni, Bi, Co, Zn, Pb, Ag, Cu, As, Ba

* Взаимоотношения элементов, заключенных в скобки, в ряду не установлены.
 ** На этих месторождениях изучены ореолы ограниченного круга элементов-индикаторов.

Ряды зональности элементов

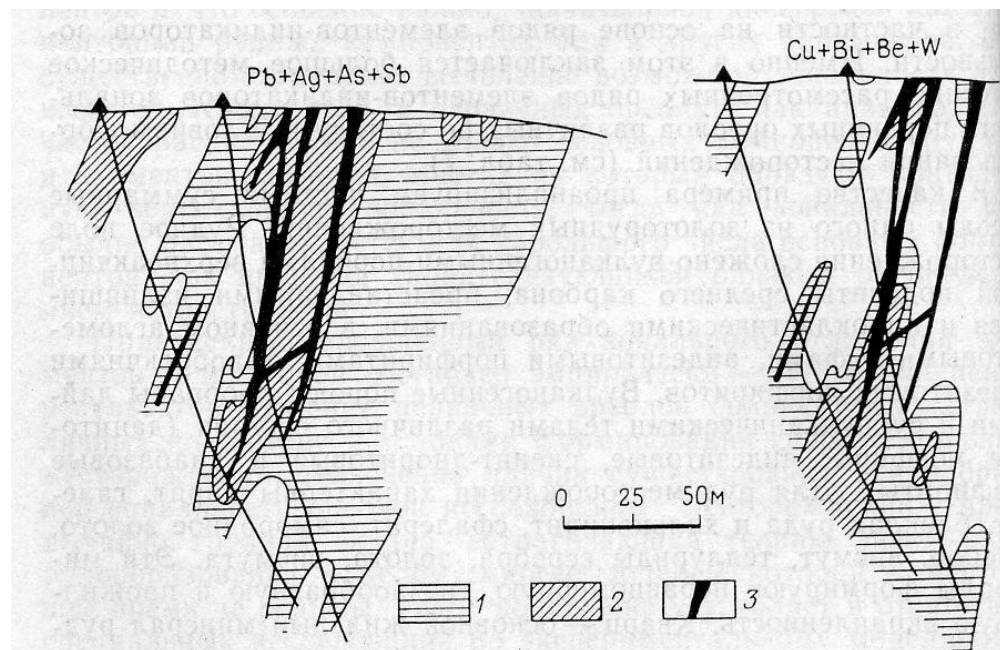


Рис. 17. Частные аддитивные ореолы в разрезе:
 1, 2 — аддитивные ореолы (2 — повышенных содержаний); 3 — рудные тела

РЯДЫ ЗОНАЛЬНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ

Тип месторождения	Название месторождения	Ряды зональности
Вольфрам-молибденовое в скарнах	Шурале	Ag, Pb, Zn, Mo, W, Ni, Co
Висмутовое в скарнах	Чокадамбулак	As, Pb, Ag, Zn, (Co, Cu, Bi), Ni
Полиметаллические в скарнах	Нов. Камарсай	As, Cd, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi
	Акташ	(As, Sb), Ag, Pb, (Zn, Cu), Bi, Co, Sn, Mo
	Курусай	Ba, (As, Sb), Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Co, (Mo, W), Sn
	Алтынтопкан	Sb, Cd (Ag, Pb) (Sn ₁ , Zn), Cu, Bi, Ni (Co, Mo, Sn ₂ , W, Be)
	Гарпенберг	Sb, Ag, Pb, Zn, Cu, Sn, Bi (Ni, Mo, Co), W
Золоторудные	I	(Sb, As ₁ , Ag, Pb), Zn, Au, Mo, Cu, Bi (Co, Ni, As ₂ , W, Be)
	II	Sb, As, Ag, Pb, Zn, Au, Cu, Mo, Sn, Bi, Be, W, Co
	III	Ba, Sb, As, Ag, Pb (Zn, Cu), Au, Mo (Sn, Bi, W)
Оловорудное (сульфидно-касситеритовое)	Зимнее, Эге-Хая, Депутатское	Sb—(Ag, Pb, Zn)—(Sn, Cu, Bi)—(Co, Mo, W)
Медно-порфировое	Алмалык	Ba, As, Sb (Ag, Pb, Zn), Au, Bi (Cu, Mo) (Sn, Co, W, Be)

(Беус и др., 1975)

Обобщенная схема первичного ореола гидротермального месторождения

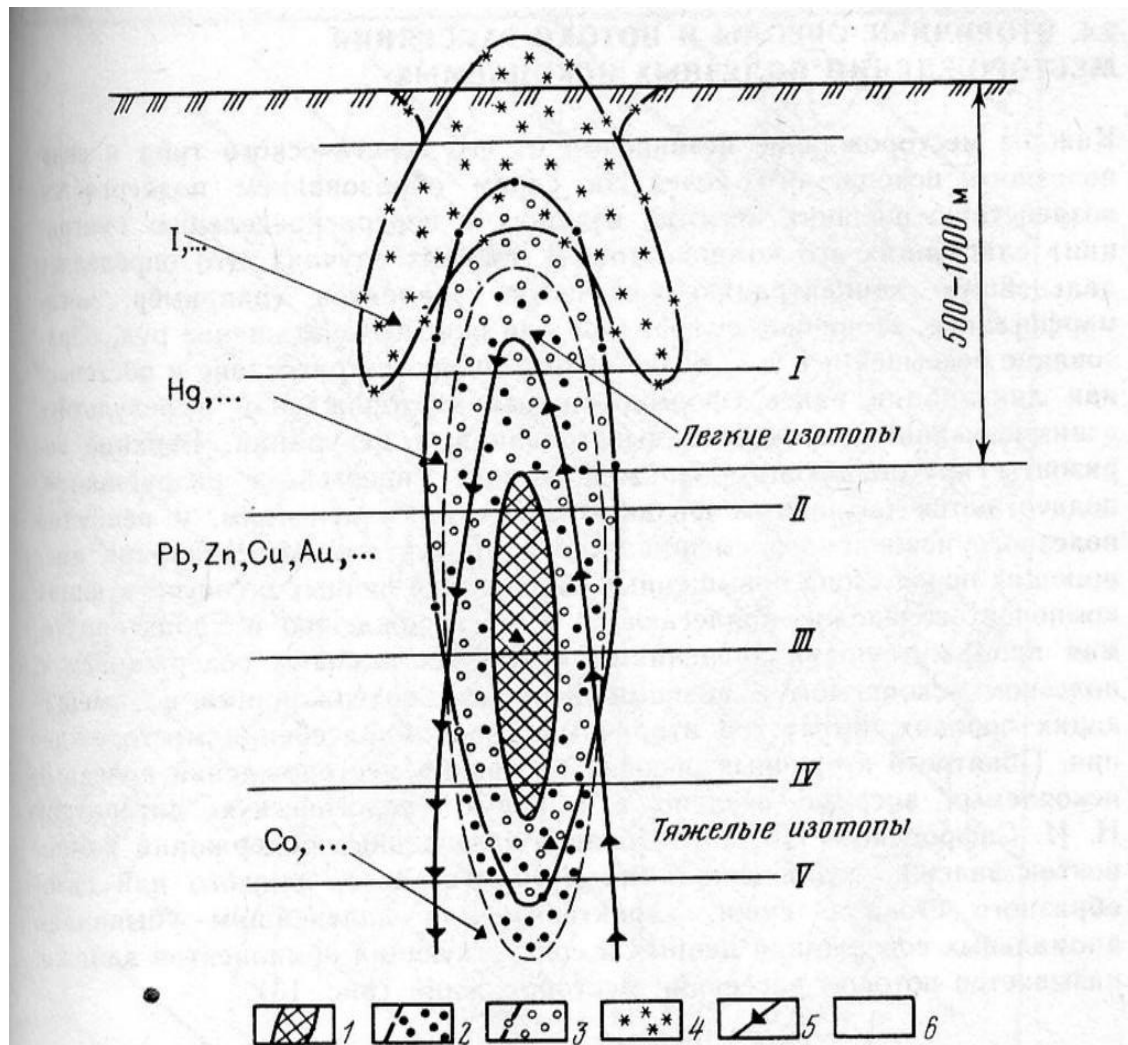
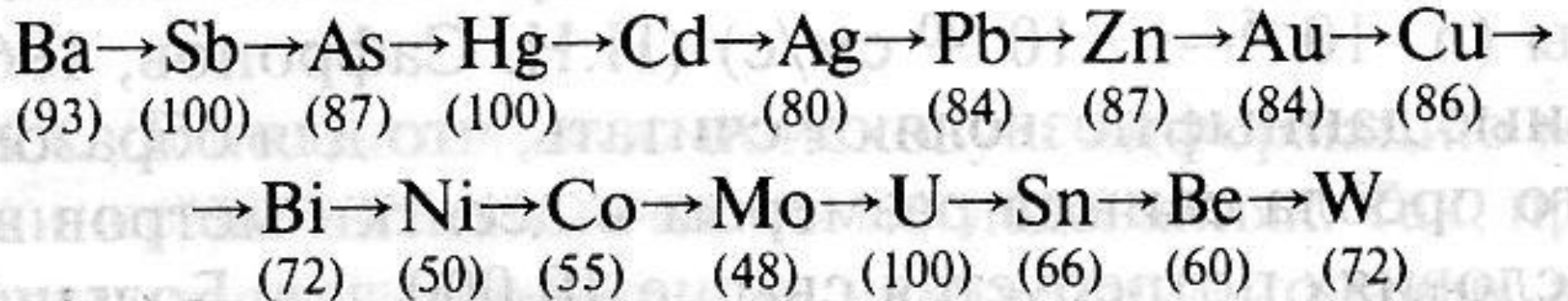


Рис. 12. Обобщенная схема первичного ореола гидротермального месторождения:
1 — рудное тело; 2 — ореол свинца; 3 — ореол ртути; 4 — ореол йода; 5 — ореол кобальта; 6 — современная денудационная поверхность. Римскими цифрами обозначены номера горизонтов

Обобщенный ряд зональности для первичных ореолов гидротермальных месторождений (сверху вниз)

по Л.Н. Овчинникову и С.В. Григоряну



- Цифры в скобках указывают на вероятность нахождения этих элементов на данном месте в ряду зональности.
- Единообразна для различных по составу месторождений

ОБОБЩЕННЫЙ РЯД ЗОНАЛЬНОСТИ ОТЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ (снизу вверх):

**W – Be – As₍₁₎ – Sn₍₁₎ – U – Mo – Co – Ni – Bi –
Cu₍₁₎ – Au – Sn₍₂₎ – Zn – Pb – Ag – Cd – Cu₍₂₎ –
Hg – As₍₂₎ – Sb – Ba**

Sn₍₁₎ - касситерит SnO₂,

Sn₍₂₎ - станнин Cu₂FeSnS₄;

As₍₁₎ - арсенопирит FeAsS,

As₍₂₎ - аурипигмент As₂S₃;

Cu₍₁₎ - халькопирит CuFeS₂,

Cu₍₂₎ - тетраэдрит 3Cu₂S · Sb₂S₃

(Беус и др., 1975)

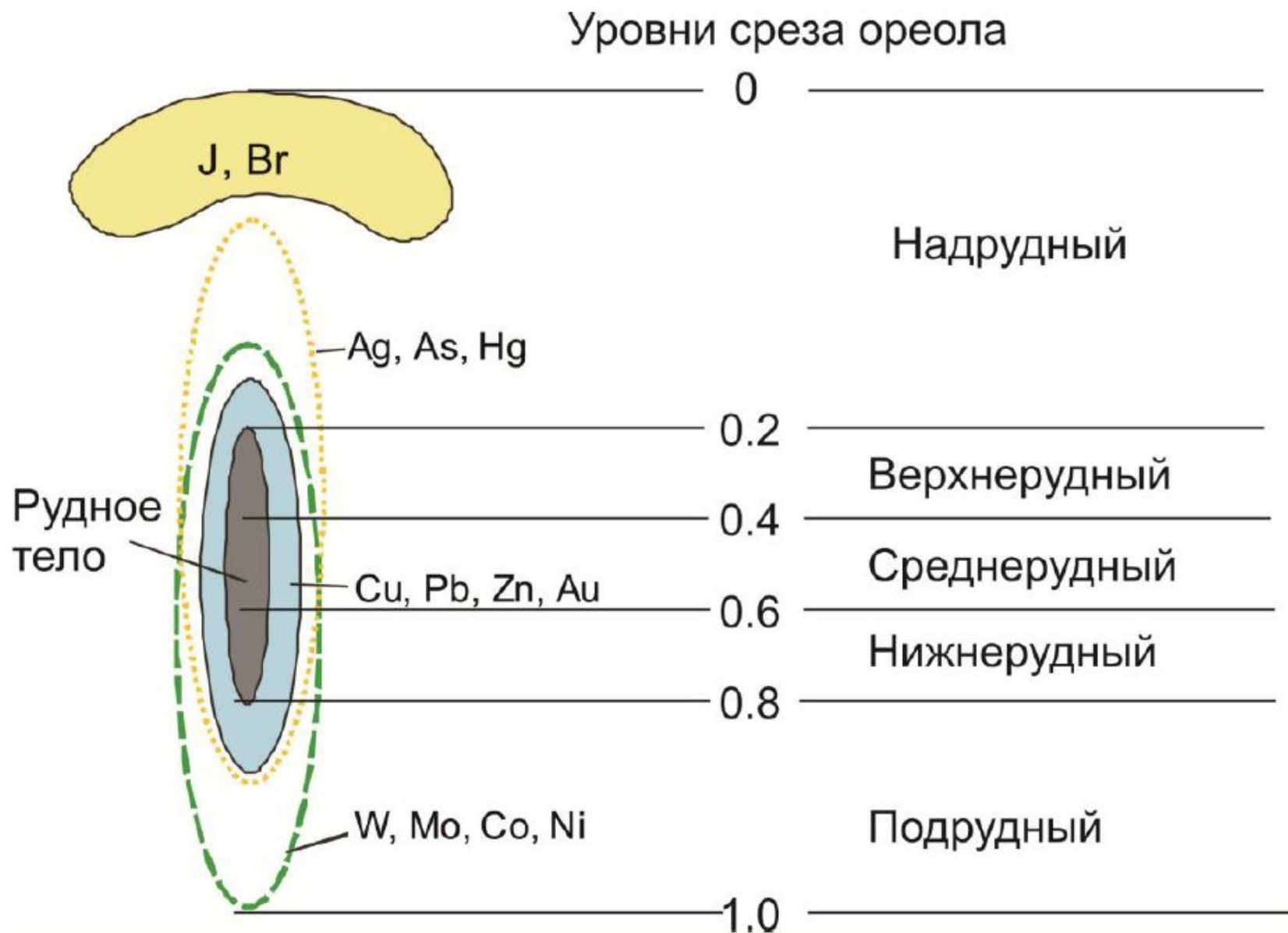


Рис. 6. Уровни максимального накопления элементов в первичном ореоле сульфидсодержащего рудного тела

Поперечная зональность

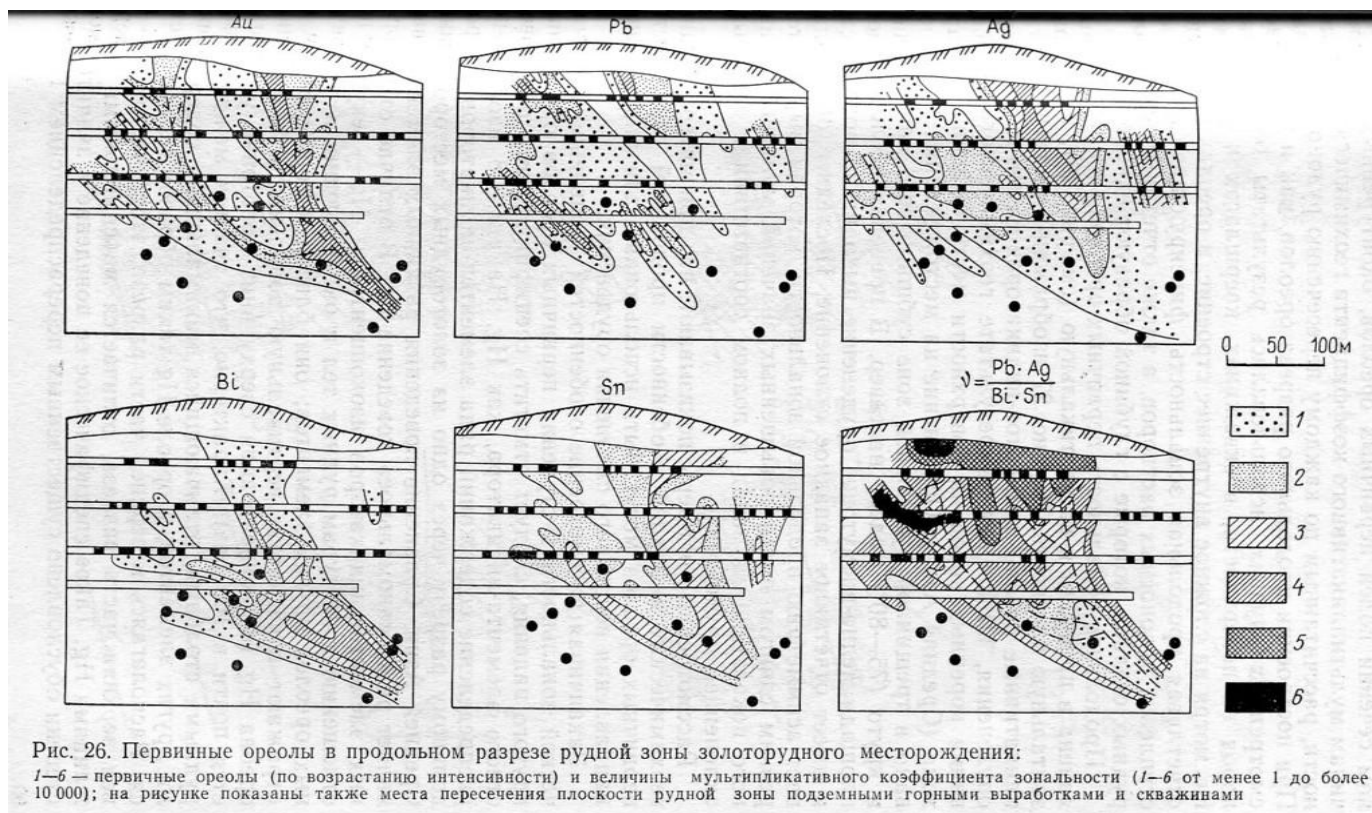
Таблица 8

Поперечная зональность первичных ореолов

Месторождения	Ряды поперечной зональности
Свинцово-цинковые в скарнах	Zn, Pb, As, Ag, Cu, Sb
Жильные свинцово-цинковые	Pb, Zn, Ag, Cu, As, Co
Шеелитовые в скарнах	W, Mo, Cu, Ba, Zn, Pb
Кварц-золоторудные	Au, As, Bi, Ag, Pb, Sb, Cu, Be, Mo, Co, Zn
Медно-порфировые	Au, Cu, Mo, Ag, As, Sb
Медно-висмутовые	Cu, Bi, Pb, Ag, As, Ba, Zn, Co
Урановые	U, Mo, Pb, Cu, Zn, Ag
Ртутные	Hg, As, Ba, Cu, Pb, Zn, Ni, Ag, Co
Медно-молибденовые	Cu, Mo, Zn, Pb, Co, Ni, Sn, Be, W, Bi, As, Ba, Ag
Сульфидно-касситеритовые	Sn, Ag, Zn, Pb, Cu, Mo
Стратиформные свинцово-цинковые	Pb, Cu, As, Ba, Co, Zn, Ni

- Отражает различия в ширине ореолов элементов вкрест простирания рудных тел и окаймляющих ореолов. Зависит от состава руд.

Продольная зональность



- Может быть симметричной и асимметричной.
- Отражает движение рудоносных растворов в плоскости рудоносных зон. Сопласуется с осевой зональностью.

Результат воздействия экзогенных факторов на месторождение

- Происходит перераспределение (миграция) слагающих его компонентов
- В частных случаях это определяет дальнейшую концентрацию элементов (вторичное сульфидное или окисное обогащение руд, образование россыпей).
- Более общим является рассеяние и постепенная ликвидация ранее сформированных месторождений