

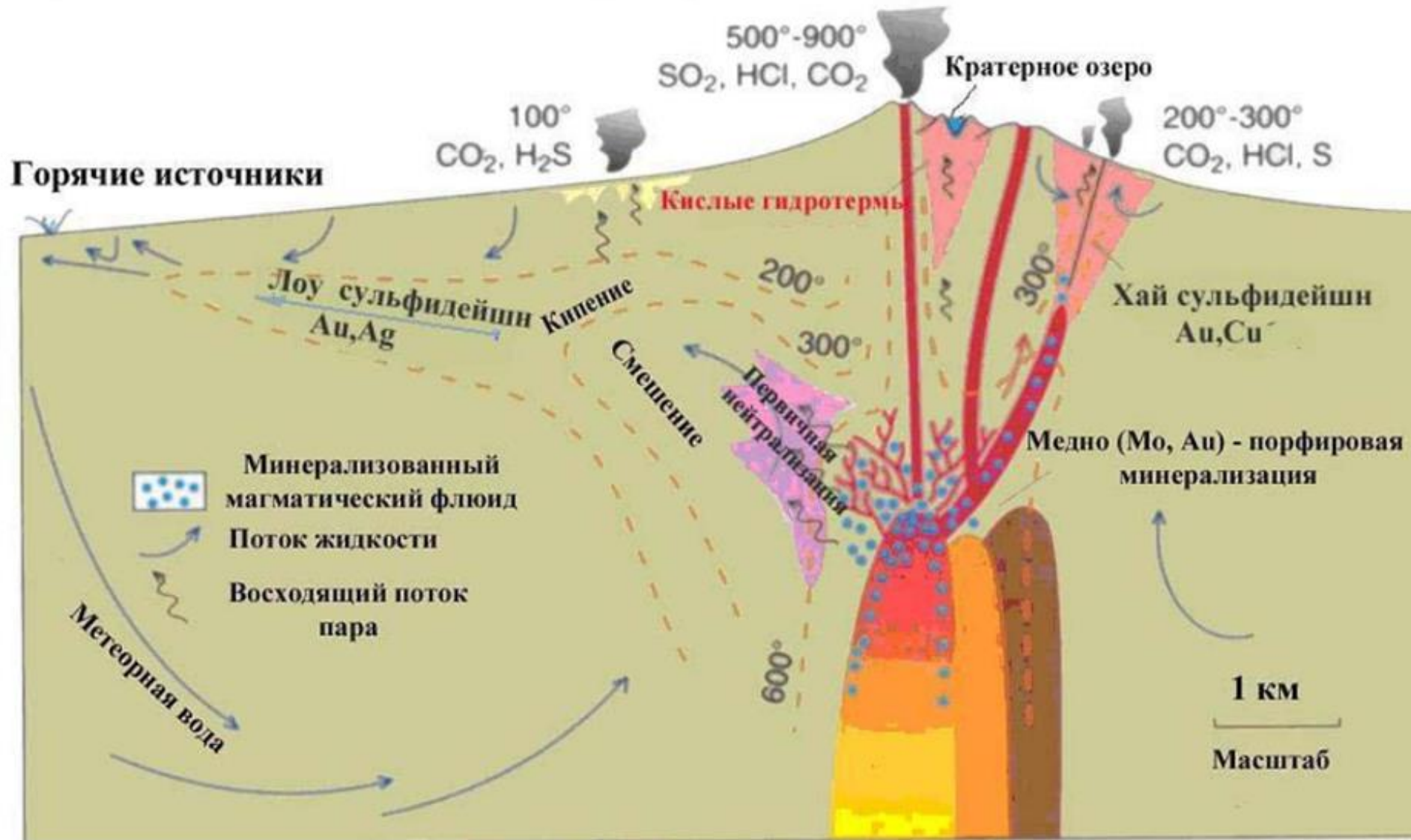
Тема 15. Геохимия гидротермального процесса

Гидротермальный процесс – процесс, в котором перенос и отложение вещества происходит горячими существенно водными растворами.

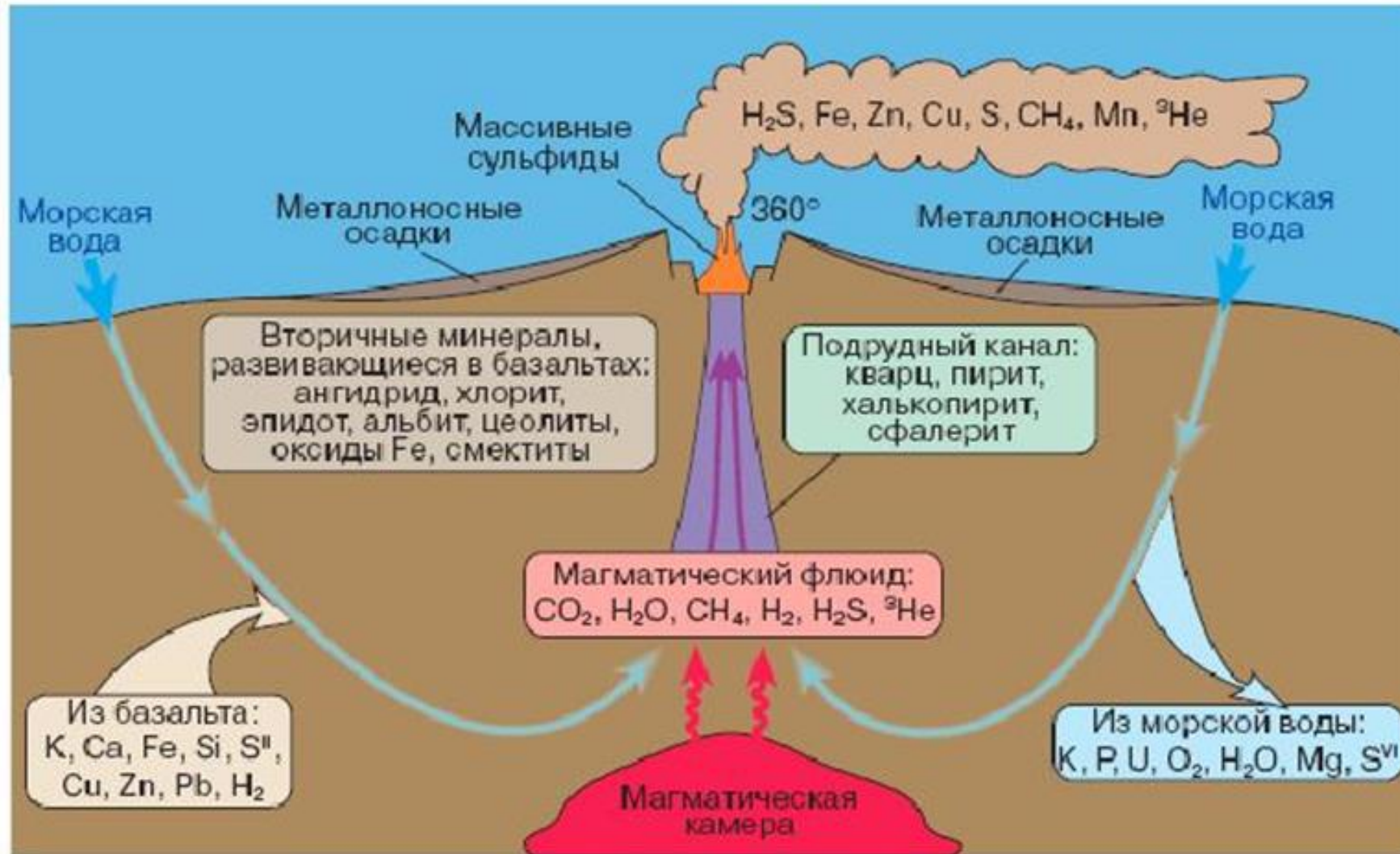
Температурный интервал гидротермального процесса – от 70 до 500°C, давление до 3 кбар.

Источники информации для изучения гидротермального процесса:

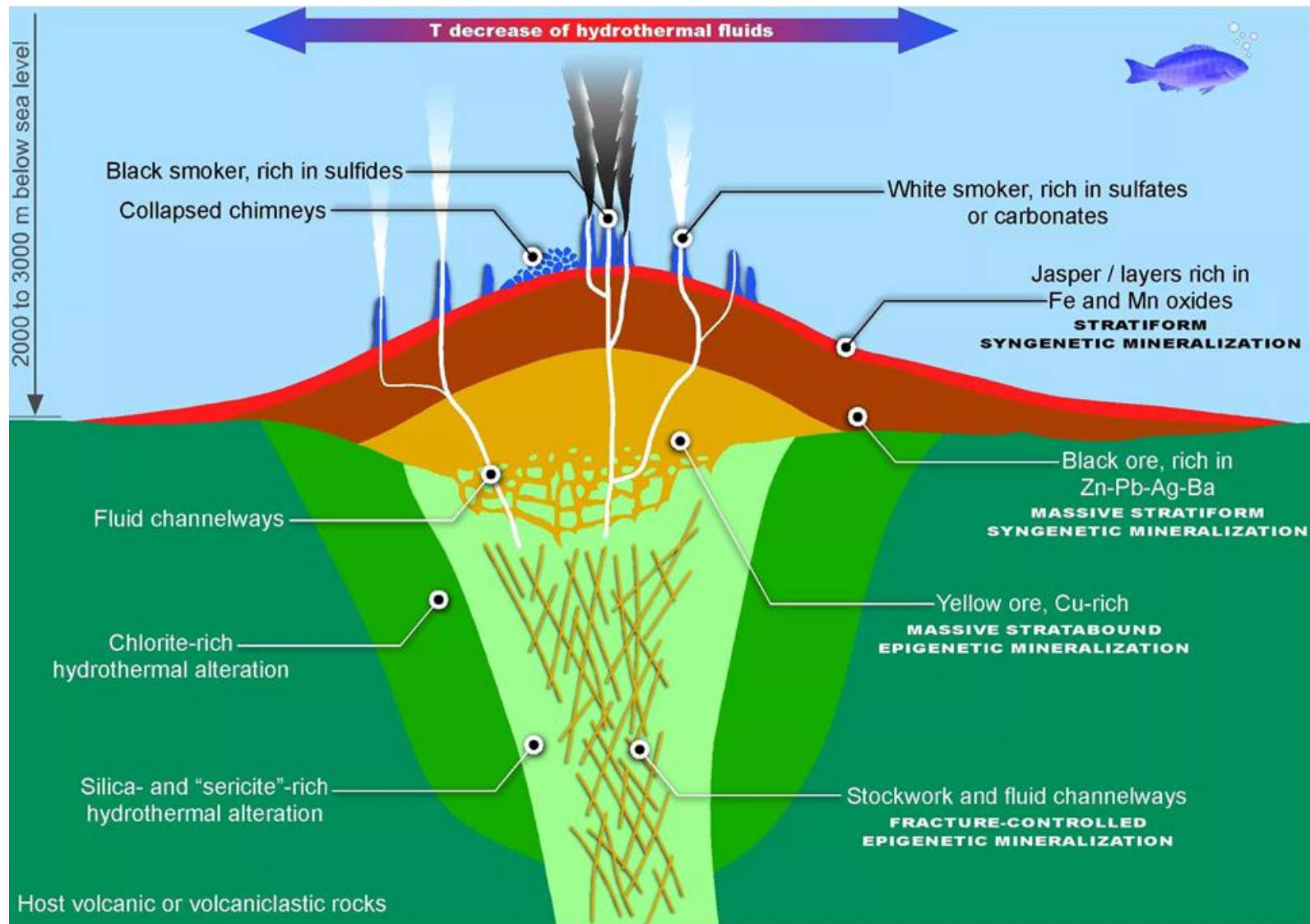
- Геохимические исследования продуктов природных процессов, в том числе – газовой-жидких включений – реликтов гидротермальных растворов;
- Анализ парагенезисов рудных и жильных минералов, а также – метасоматически измененных вмещающих пород;
- Экспериментальные исследования физико-химических систем, моделирующих природные процессы;
- Теоретическое (термодинамическое) моделирование гидротермальных систем;
- Исследование современных рудообразующих гидротерм на суше и дне океана.



Магмато-гидротермальная субэральная система, дающая Cu-Mo-Au-порфировое и Au-Ag эпитермальное (двух типов) оруденение. По Хеденквисту, 1994, с дополнениями.



Подводная гидротермальная система в срединно-океаническом хребте, дающая гидротермально-осадочное Cu-Zn оруденение.



Реконструкция формирования подводной гидротермально-осадочной Cu-Zn-Pb-Ag-Ba рудной постройки типа «куроко» (колчеданно-полиметаллическая рудная формация).

Основные этапы изучения геохимии гидротермального процесса:

- Решение проблемы источника вещества (воды, рудных компонентов, нерудных компонентов);
- Определение форм переноса рудных компонентов в гидротермальном растворе;
- Установление механизмов и факторов отложения рудного вещества.

Проблема источника вещества
гидротермального процесса

Потенциально возможные источники воды гидротермальных флюидов:

- Магматический;
- Экзогенный – атмосферный (инфильтрационный) или морской (седиментационный);
- Метаморфогенный (возобновленная вода)

Критерий – изотопный состав кислорода и водорода гидротермальных флюидов (по составу газовой-жидких включений или оценка по изотопному составу метасоматитов):



Диаграмма Тейлора.

Гидротермальные флюиды месторождений разных формаций в систематике изотопов H и O.

M – мантийный флюид;

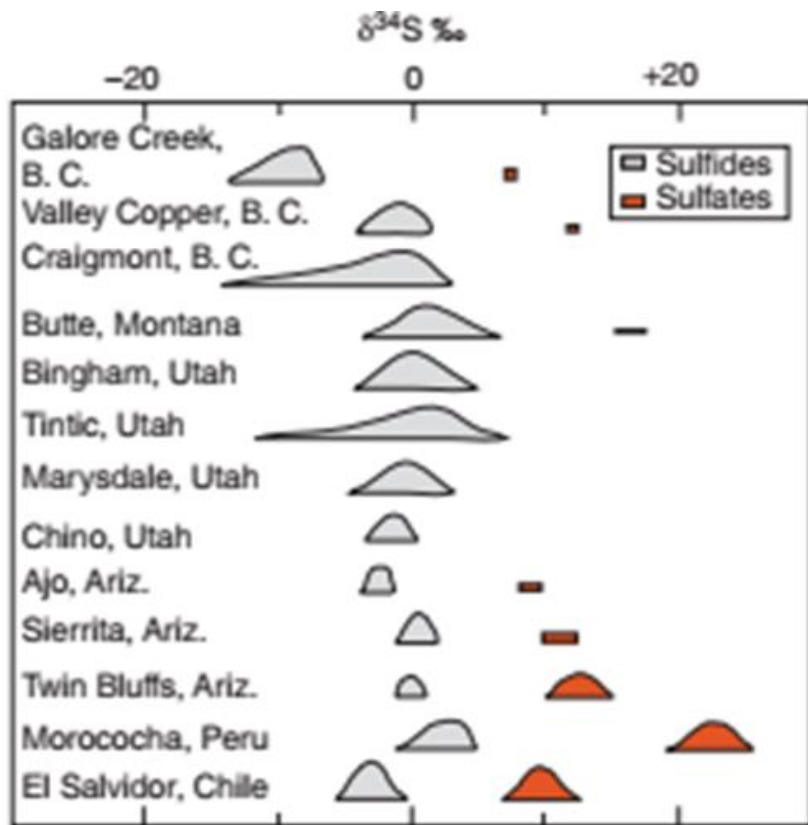
A – пары андезитовых вулканов островных дуг;

зелеными стрелками показан тренд изменения изотопного состава при взаимодействии с породами.

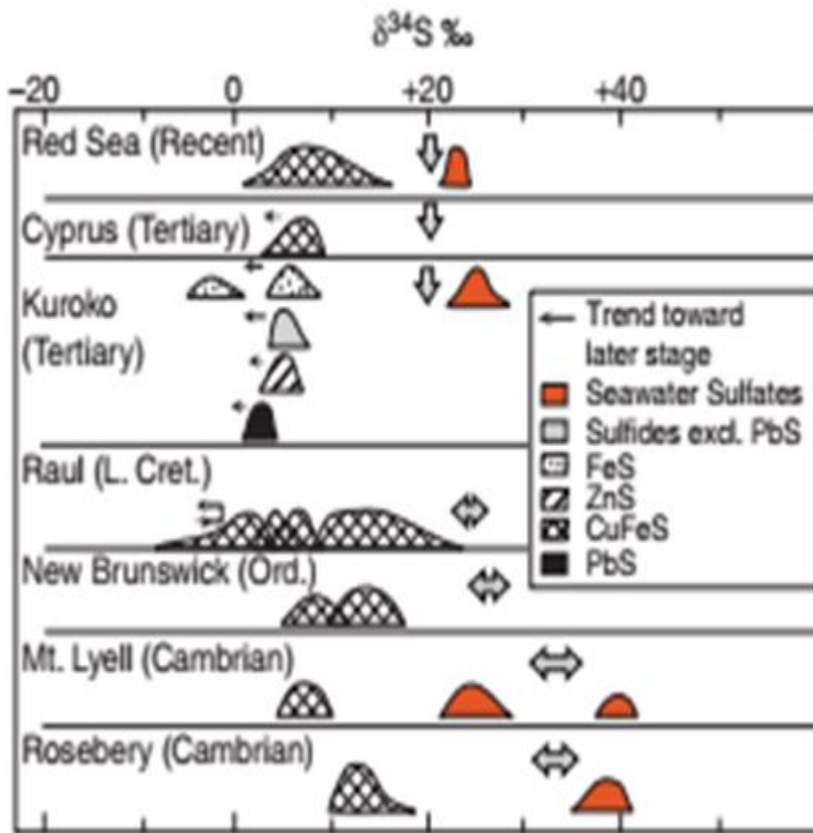
Потенциально возможные источники рудного вещества:

- Магматогенный;
- Метасоматический (вмещающие породы).

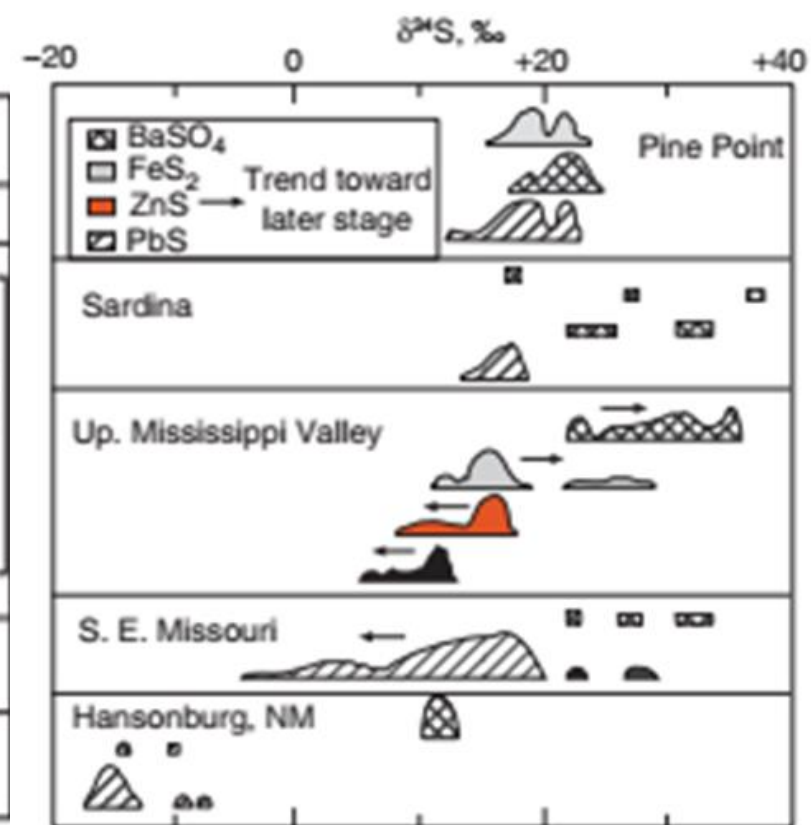
Критерии – изотопный состав серы гидротермальных сульфидов и свинца рудных минералов.



Медно-порфировые месторождения.
«Нулевые» $\delta^{34}\text{S}$ указывают на магматический источник серы.



Колчеданные месторождения.
Сульфатная S близка к современной морской воде (показана стрелками), сульфидная S имеет смешанный генезис.



Стратиформные месторождения.
Морской источник S сульфидов и сульфатов – заимствование из осадочных пород.

Изотопная систематика серы в гидротермальных месторождениях различного генезиса. (По Ohmoto, Rye, 1979) (черные – сульфиды, красные – сульфаты).

Формы переноса рудных
элементов в гидротермальных
растворах

Главные комплексообразователи в гидротермальных системах:

Гидроксокомплексы – Be

Фторидные – Sn, Nb, Ta

Хлоридные – Fe, Cu, Zn, Pb, Ag

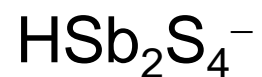
Гидросульфидные – Au, Hg, As, Sb

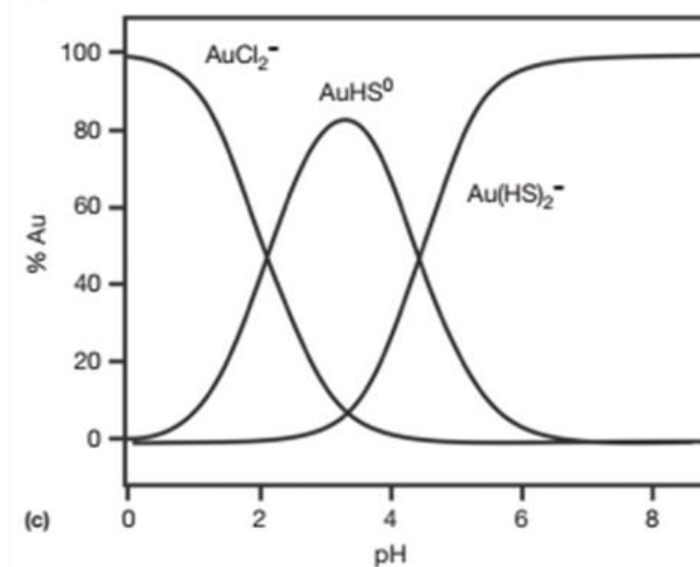
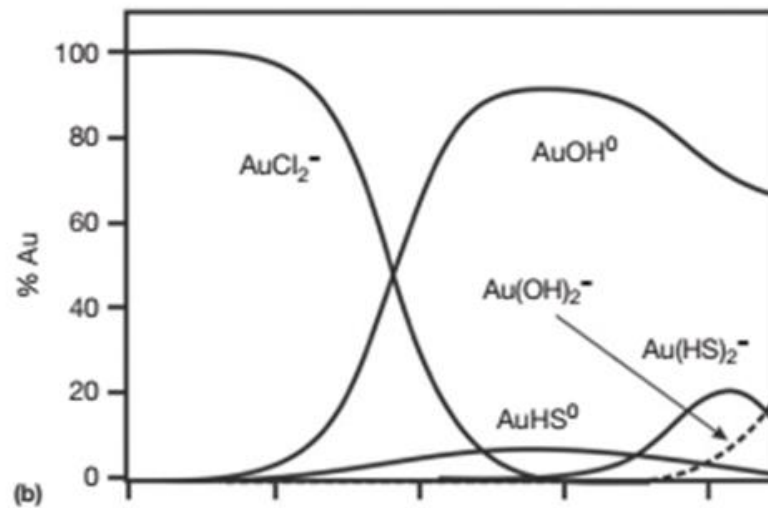
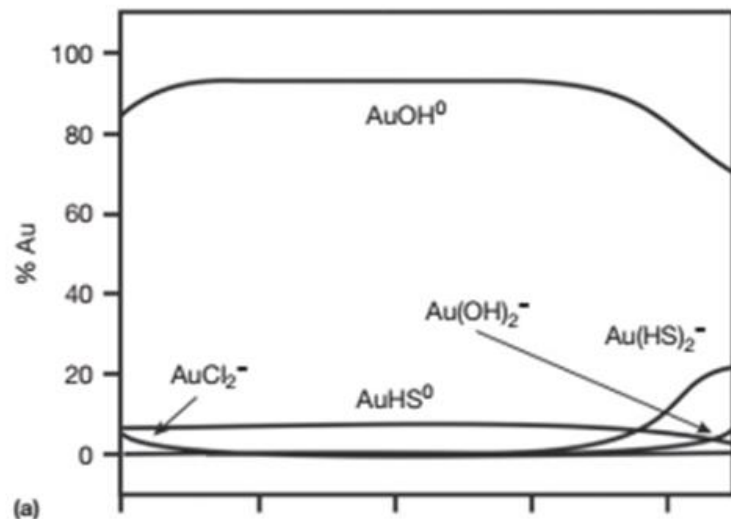
Карбонатный – U, Pb

Факторы, определяющие возможность переноса:

- Устойчивость комплексов относительно твердых соединений;
- Концентрации лигандов.

Примеры комплексных соединений, определяющих гидротермальную геохимию элементов:





Зависимость распределения комплексных форм золота от pH и состава раствора: а) H_2S 0.001 м, Cl 0.001 м; б) H_2S 0.001 м, Cl 0.5 м; в) H_2S 0.5 м, Cl 0.5 м; 400°C, 500 бар.

По Seward et al., 2013.

Факторы рудоотложения

Физические

- Снижение температуры
- Снижение давления (кроме кипения)

Химические

- Взаимодействие с вмещающими породами (метасоматоз)
- Смешение вод разного состава
- Дегазация и кипение

Факторы рудоотложения

Физические

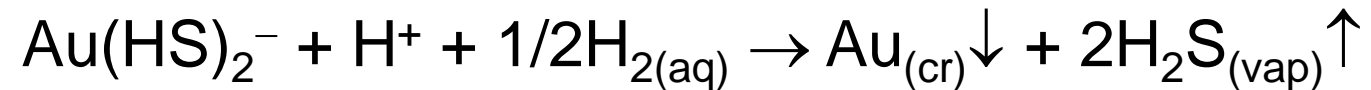
- Снижение температуры
- Снижение давления (кроме кипения)

Химические

- Взаимодействие с вмещающими породами (метасоматоз)
- Смешение вод разного состава
- Дегазация и кипение

Взаимосвязь форм переноса и факторов отложения создает дополнительные механизмы рудоотложения

Пример - отложение кристаллического золота при вскипании гидротермальных растворов:



При вскипании раствора сероводород отгоняется в паровую фазу, гидросульфидный комплекс золота разрушается, и золото отлагается.

Физический фактор (снижение давления) действует не на рудный элемент, а на его комплексообразователь.

Взаимосвязь условий и свойств гидротермального рудообразования

| Класс | T, °C | Источник раствора | Главные комплексообразователи | Главные металлы | Факторы отложения | Типичные рудные формации |
|----------------|---------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| Гипотермальные | >300 | Магматический | F, Cl, OH | W, Sn, Cu, Mo, Au | Метасоматоз | W-Mo, Q-Au, Cu-Mo-порфировая |
| Мезотермальные | 200-300 | Морской, метаморфогенный | Cl | Cu, Zn, Pb, Ba (Ag, Bi, ..) | Гидротермально-осадочный | Колчеданная |
| Эпитермальные | <200 | Инфильтрационный | HS, HCO ₃ , орг. | Pb, U, Hg, Au, Ag | Кипение, смешение | Pb-Zn-стратиформная, U (тип несогласия), U-Mo, As-Sb-Hg, Au-Ag |

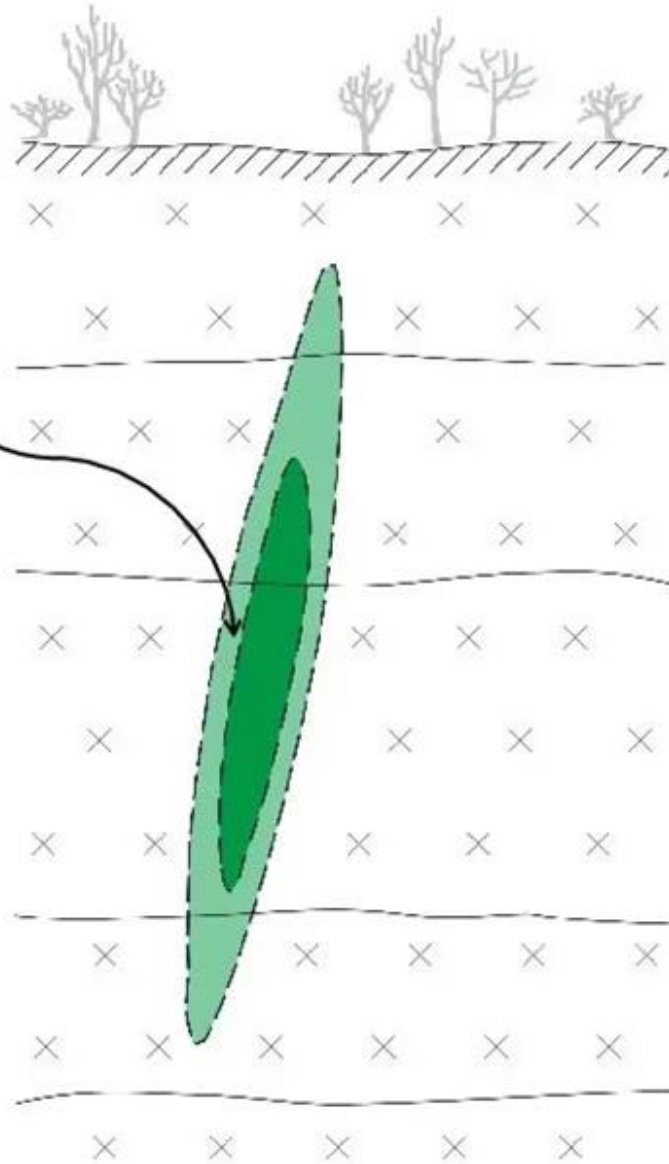
Зональность первичных ореолов месторождений

Рудное тело и его первичный ореол

✓ Граница кондиционные/
/некондиционные
содержания носит
экономический характер;

✓ площадь первичных
ореолов в плоскости
разреза нередко
значительно превышает
площадь рудного тела;

✓ по масштабу рудной
минерализации:
промышленное рудное
тело (месторождение) →
непромышленное
рудопроявление → рудная
точка → минералогическая
находка



Уровни среза:

слепой

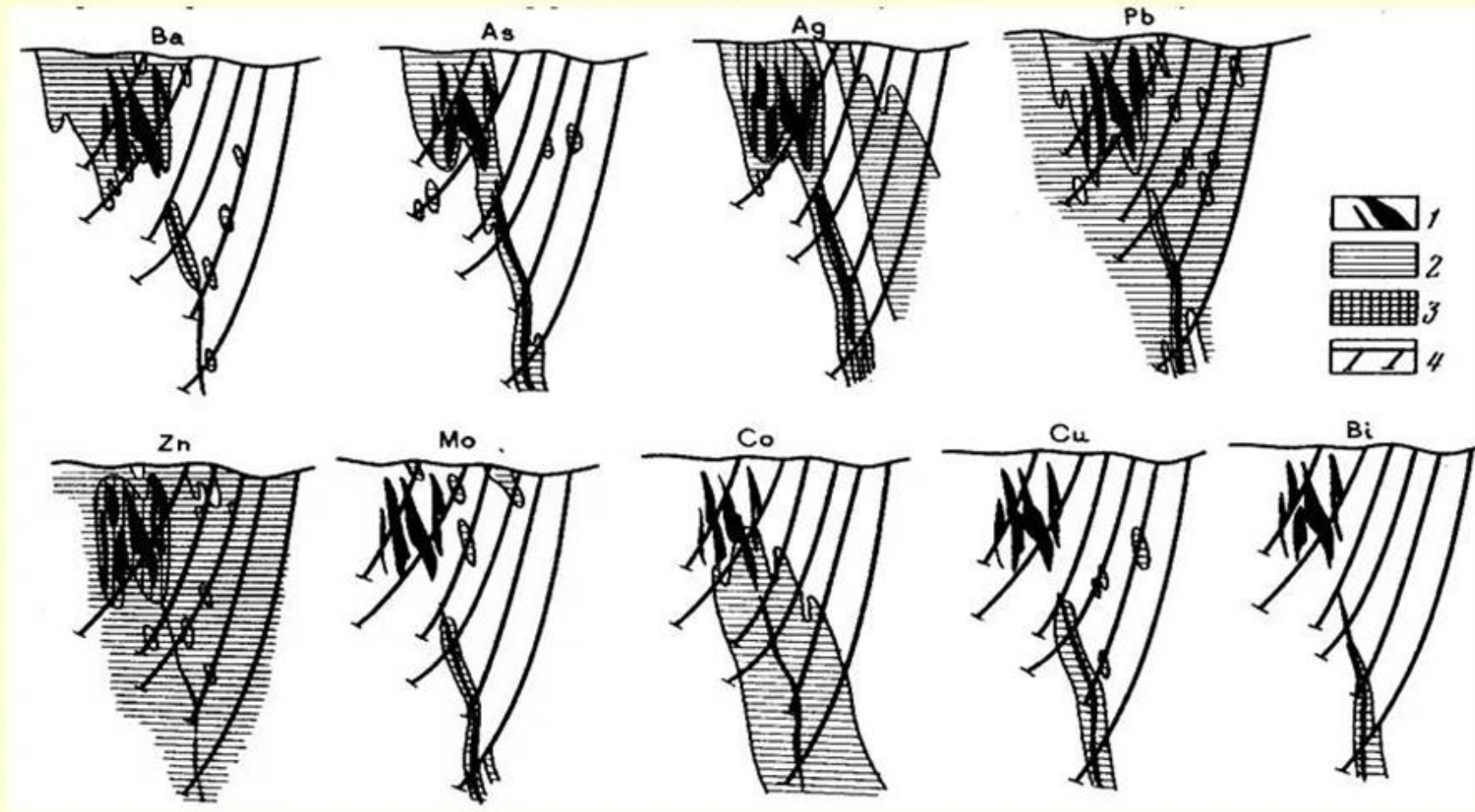
надрудный

рудный

подрудный

рудное тело и
его первичный ореол
ликвидированы

Первичные моноэлементные ореолы месторождения Канимансур (Сев. Таджикистан) (Справочник..., 1990)



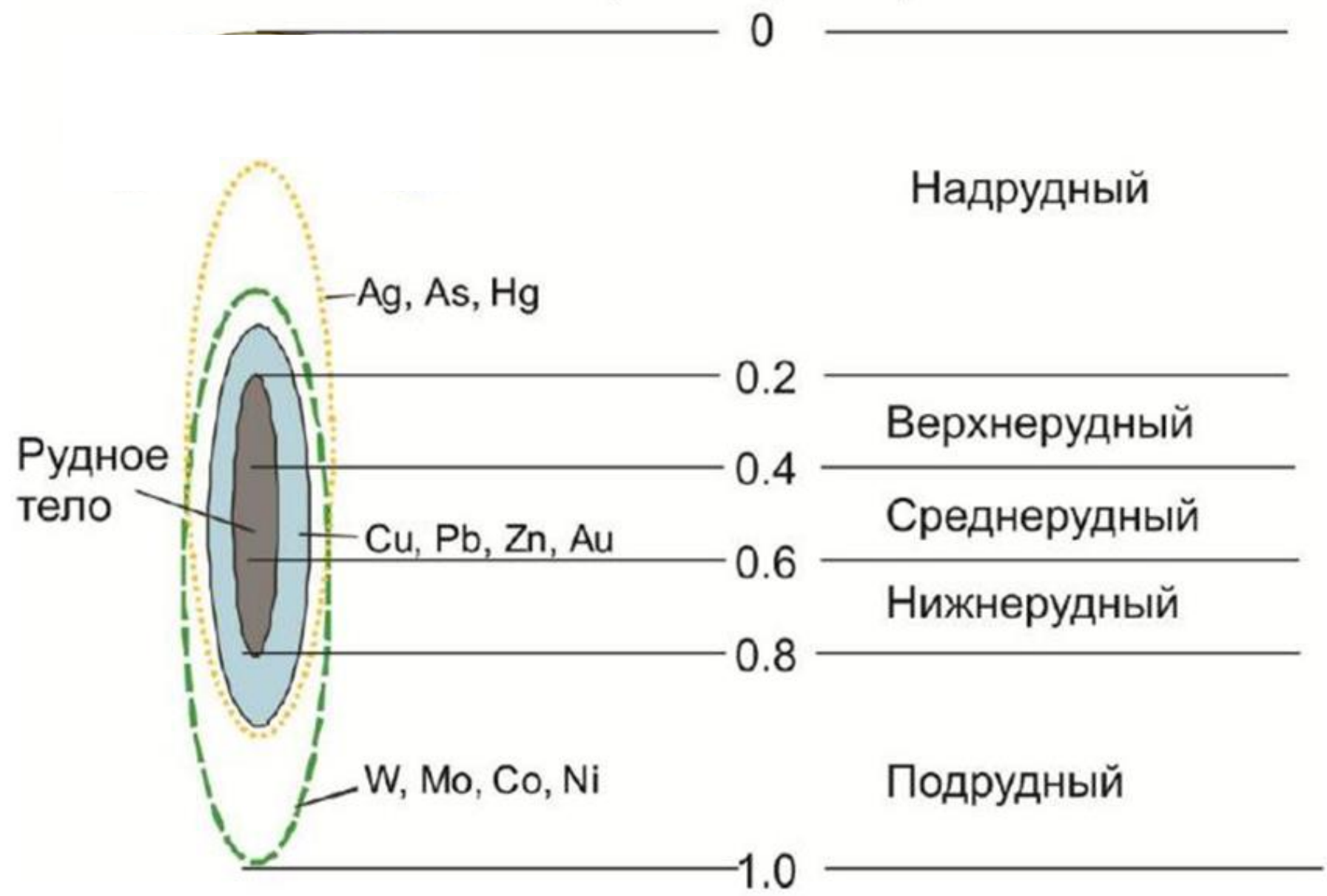
1- рудные тела; 2 – первичные ореолы; 3 – поля повышенных концентраций; 4 - скважины

Ряд зональности Эммонса (1911)

(по удалению от источника)

Ni – Co – Sn – Mo – W – Bi – Cu – Zn – Pb – Ag – Ba – As – Sb – Hg

Уровни среза ореола



Полезные ископаемые гидротермальных месторождений

Cu, Zn, Pb, Au, Mo, Sn, W, U, Mn, Ba
Ag, As, Sb, Bi, Cd, Hg, Co, Te, Ga, In, Re

