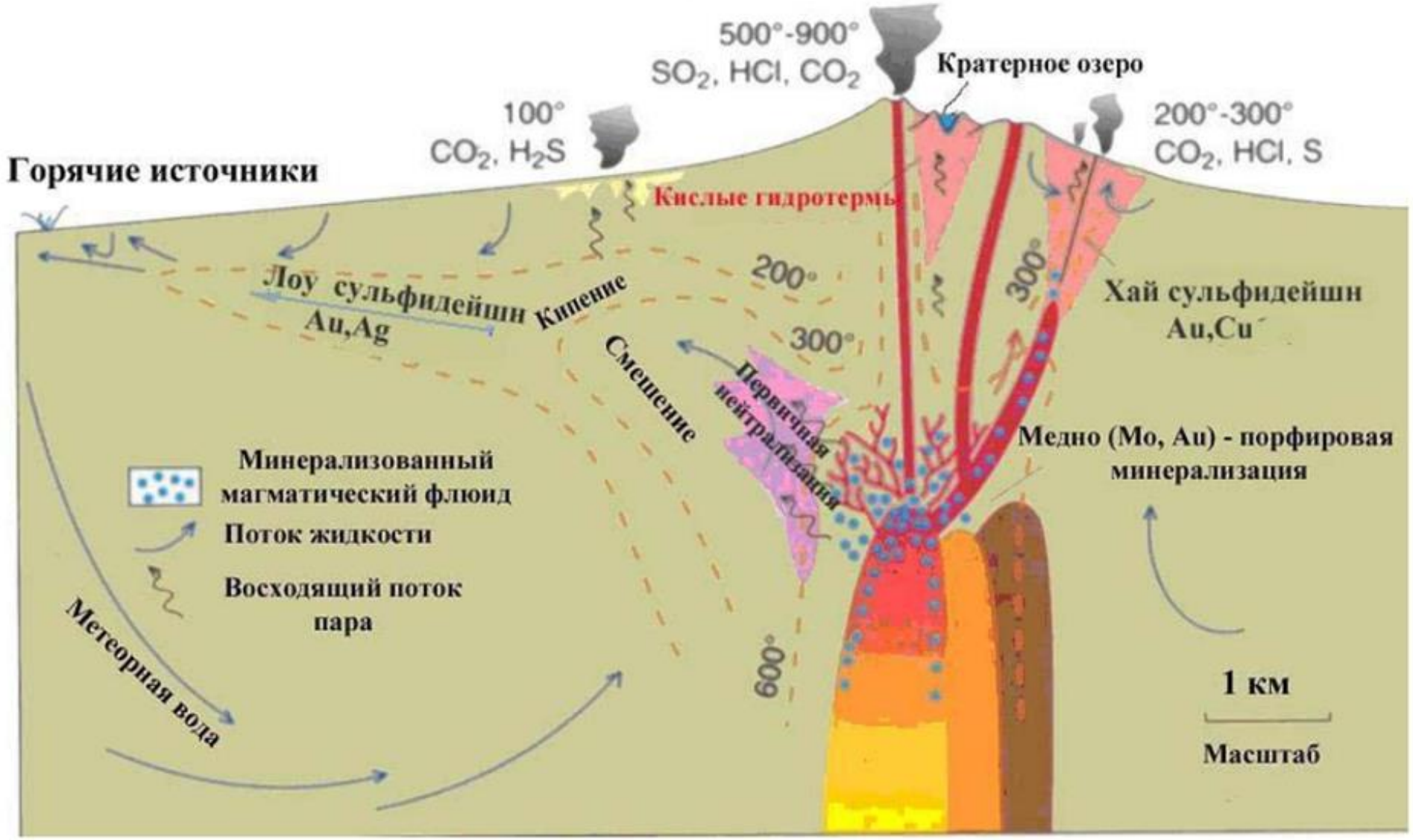
Тема 13. Геохимия гидротермального процесса

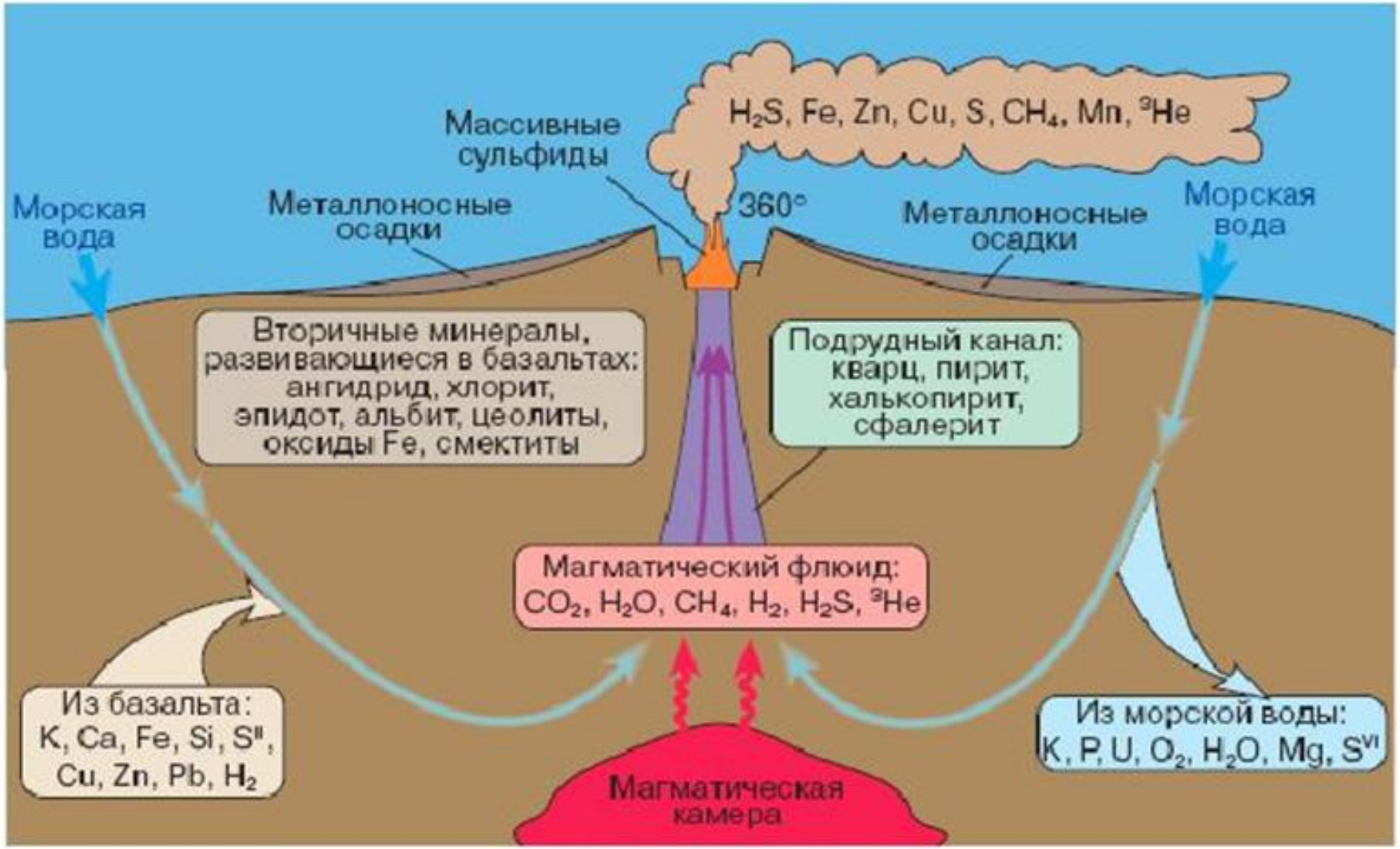
Гидротермальный процесс – процесс, в котором перенос и отложение вещества происходит горячими существенно водными растворами.
Температурный интервал гидротермального процесса – от 70 до 500°С, давление до 3 кбар.

Источники информации для изучения гидротермального процесса:

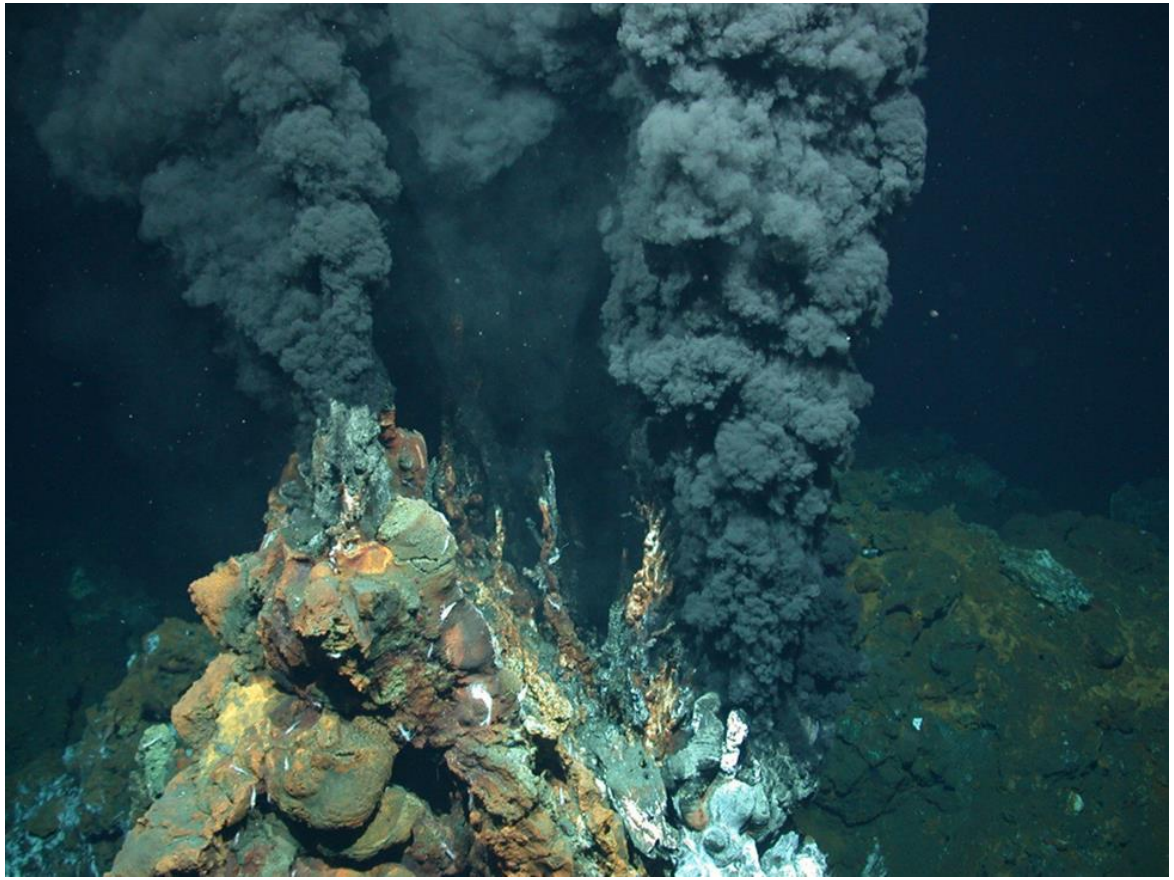
- Геохимические исследования продуктов природных процессов, в том числе – газово-жидких включений – реликтов гидротермальных растворов;
- Анализ парагенезисов рудных и жильных минералов, а также – метасоматически измененных вмещающих пород;
- Экспериментальные исследования физико-химических систем, моделирующих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

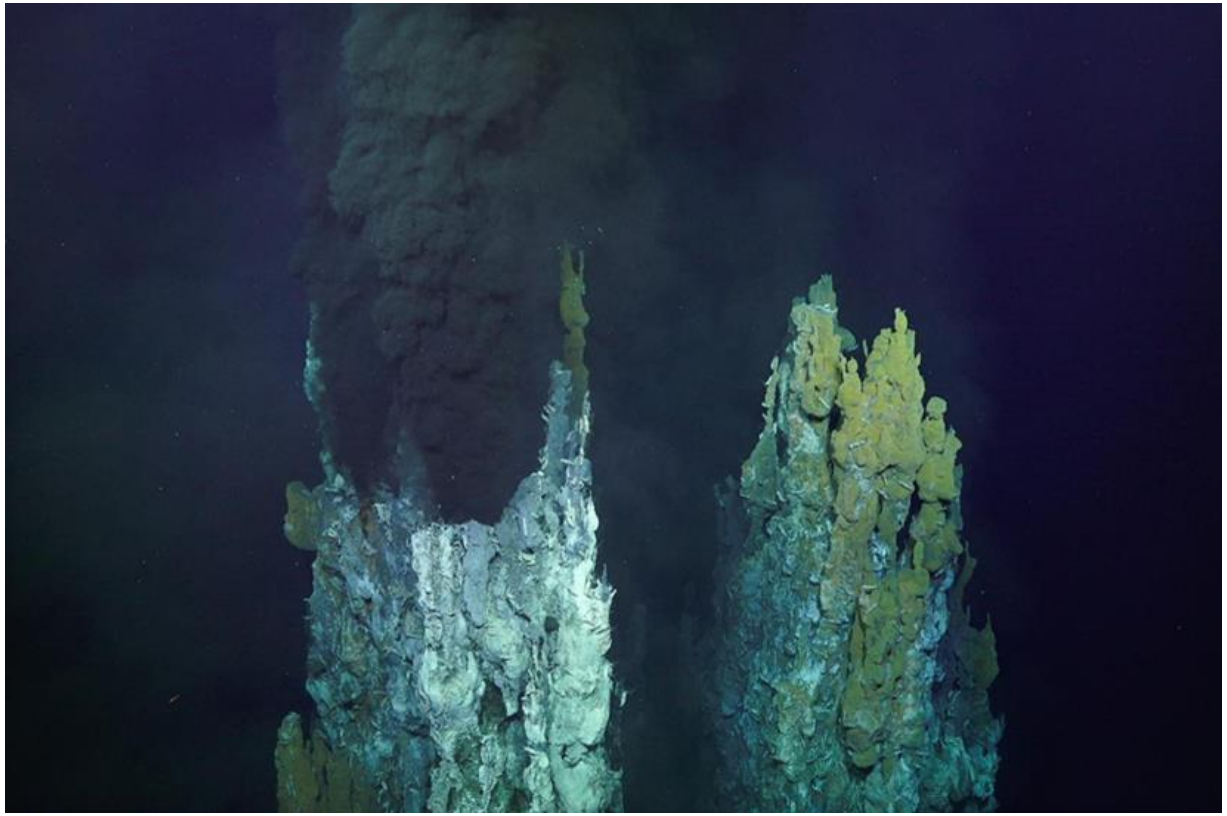


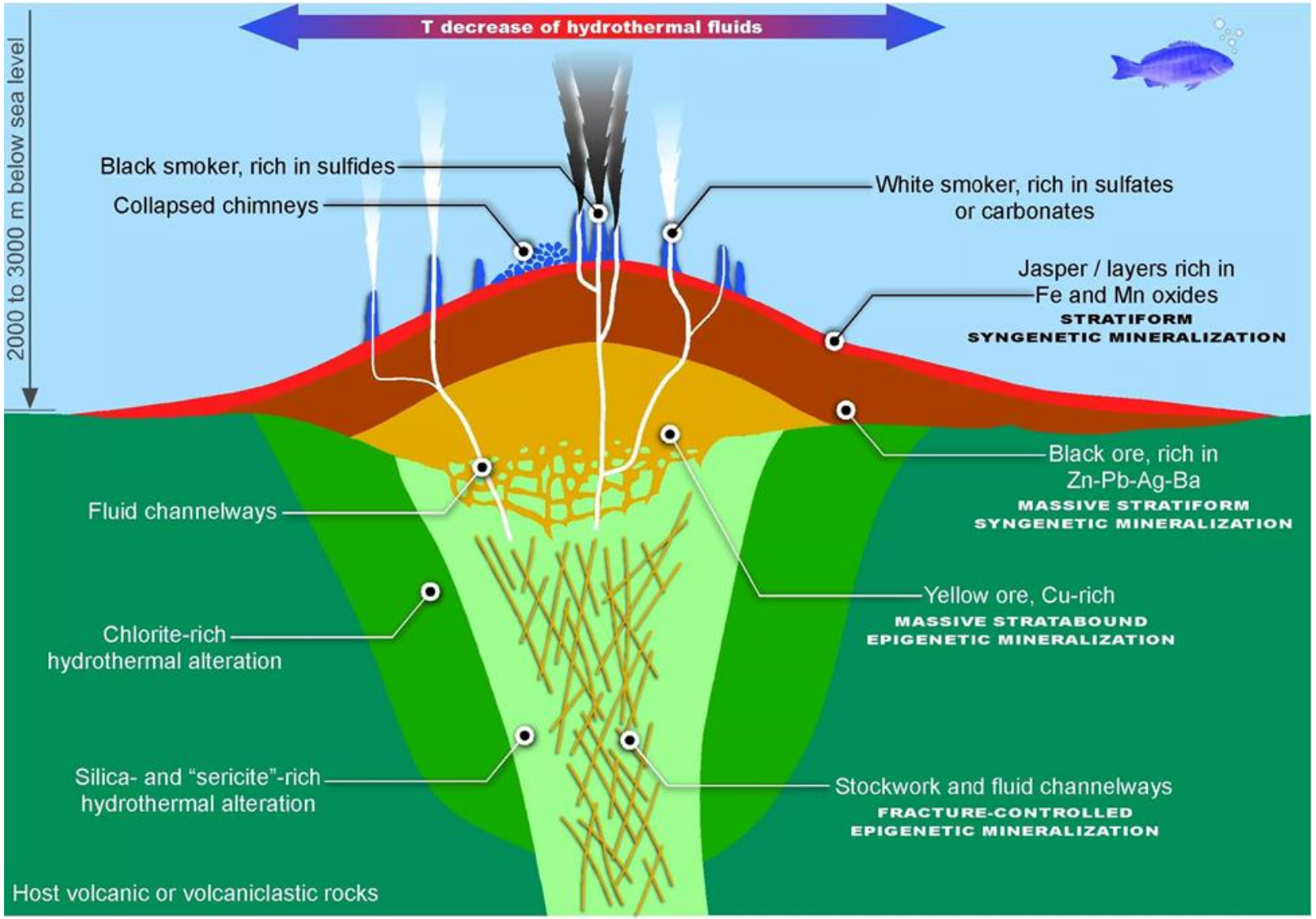
Магмато-гидротермальная субаэральная система, дающая Cu-Mo-Au-порфировое и Au-Ag эпитермальное (двух типов) оруденение. По Хеденквисту, 1994, с дополнениями.



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 газово-жидких включений или оценка по изотопному составу метасоматитов):

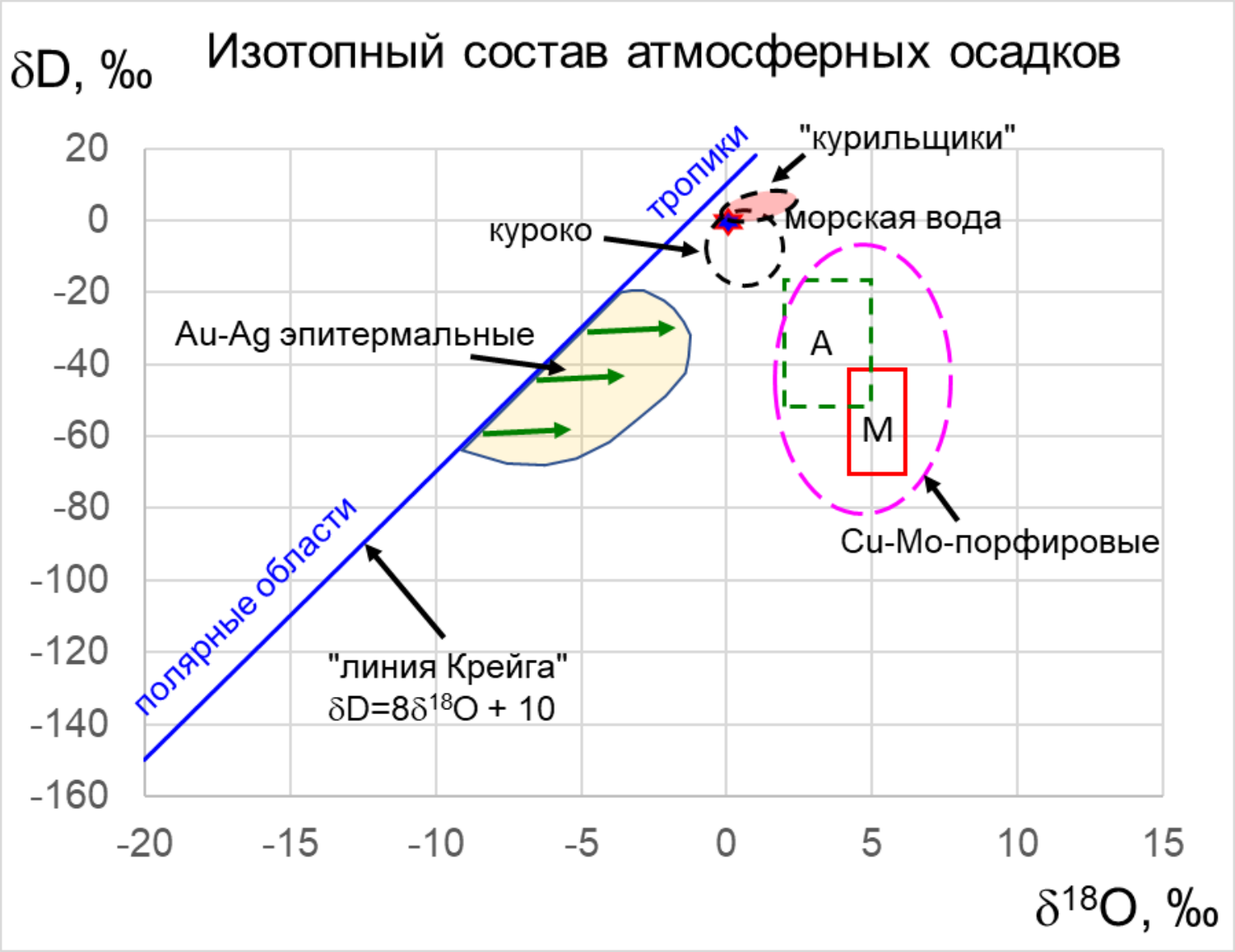


Диаграмма Тейлора.

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

M – мантийный флюид;

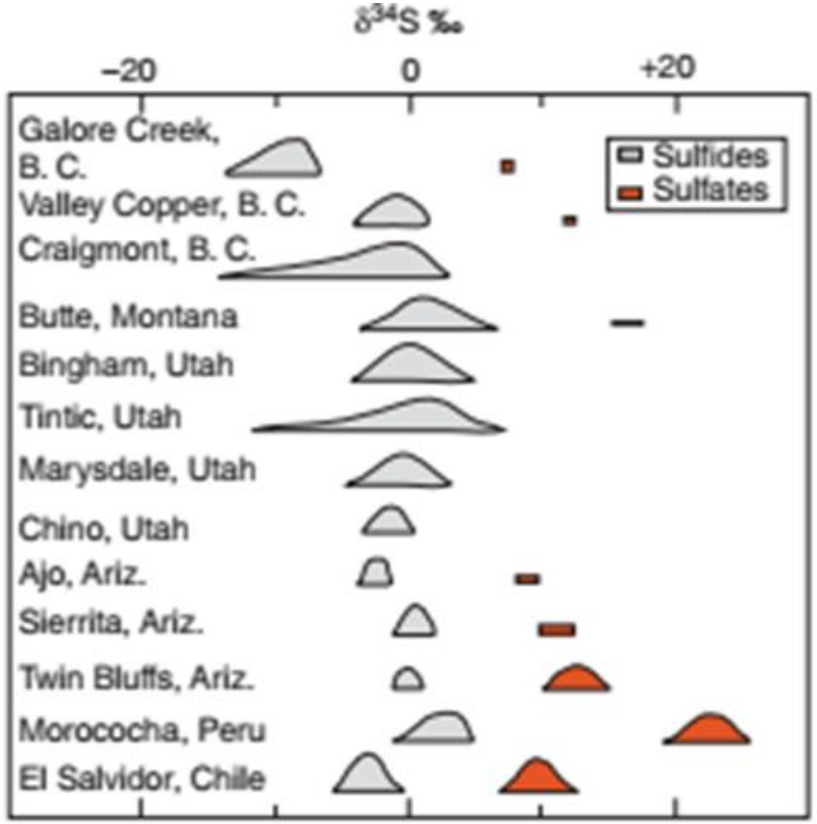
A – пары андезитовых вулканов островных дуг;

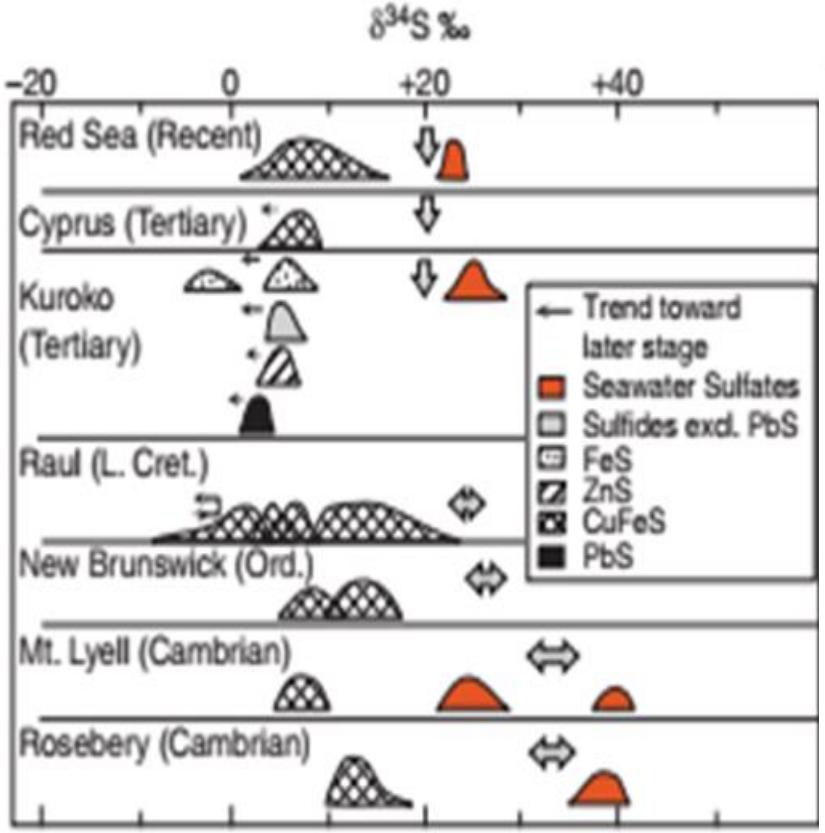
зелеными стрелками показан тренд изменения изотопного состава при взаимодействии с породами.

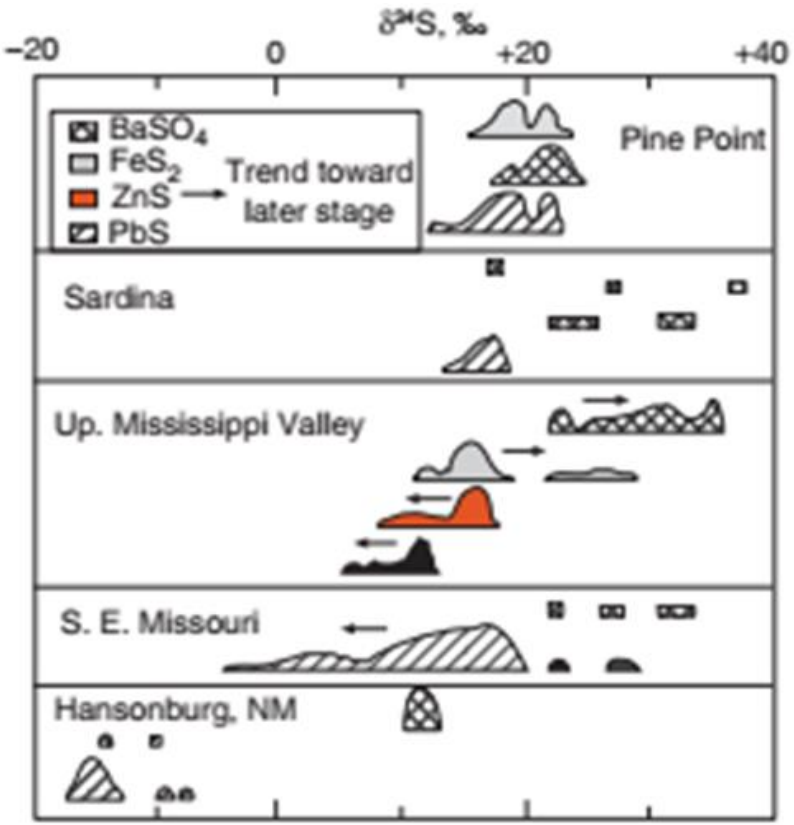
Потенциально возможные источники рудного вещества:

- Магматогенный;
- Метасоматический (вмещающие породы).

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







Медно-порфировые месторождения.

«Нулевые» $\delta^{34}S$ 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:

$Au(HS)_2^-$ $HSb_2S_4^-$ $(UO_2)(CO_2)_2^{2-}$ SnF_n

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:

$$Au(HS)_2^- + H^+ + 1/2H_{2(aq)} \rightarrow Au_{(cr)}\downarrow + 2H_2S_{(vap)}\uparrow$$

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 комплексо-образова-тели	Главные металлы	Факторы отложения	Типичные рудные формации
Гипотер-мальные	>300	Магма-тический	F, Cl, OH	W, Sn, Cu, Mo, Au	Метасо-матоз	W-Mo, Q-Au, Cu-Mo-порфировая
Мезотер-мальные	200-300	Морской, метамор-фогенный	Cl	Cu, Zn, Pb, Ba (Ag, Bi, ..)	Гидротер-мально-осадочный	Колчеданная
Эпитер-мальные	<200	Инфиль-трацион-ный	HS, HCO3, орг.	Pb, U, Hg, Au, Ag	Кипение, смешение	Pb-Zn-стратиформная, Au-Ag вулканическая U (тип несогласия), U-Mo, As-Sb-Hg

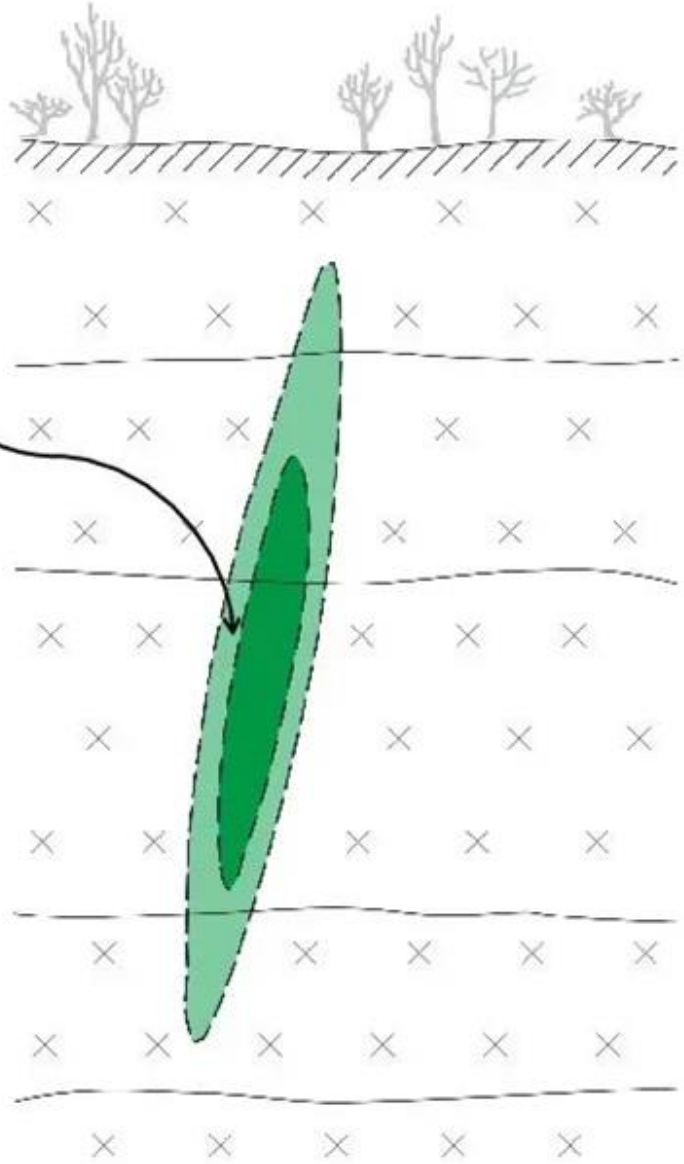
Зональность первичных ореолов месторождений

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

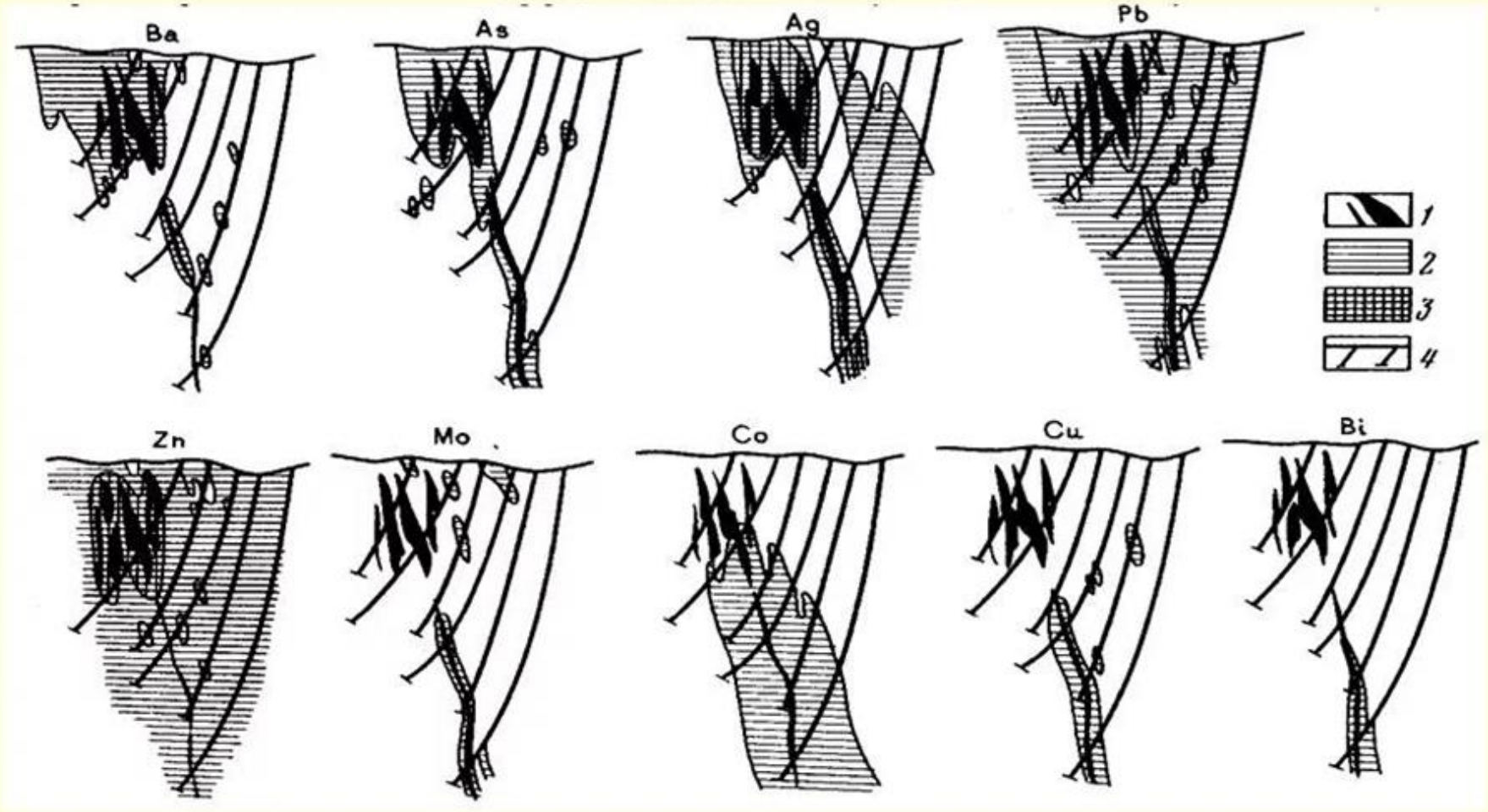
рудный

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

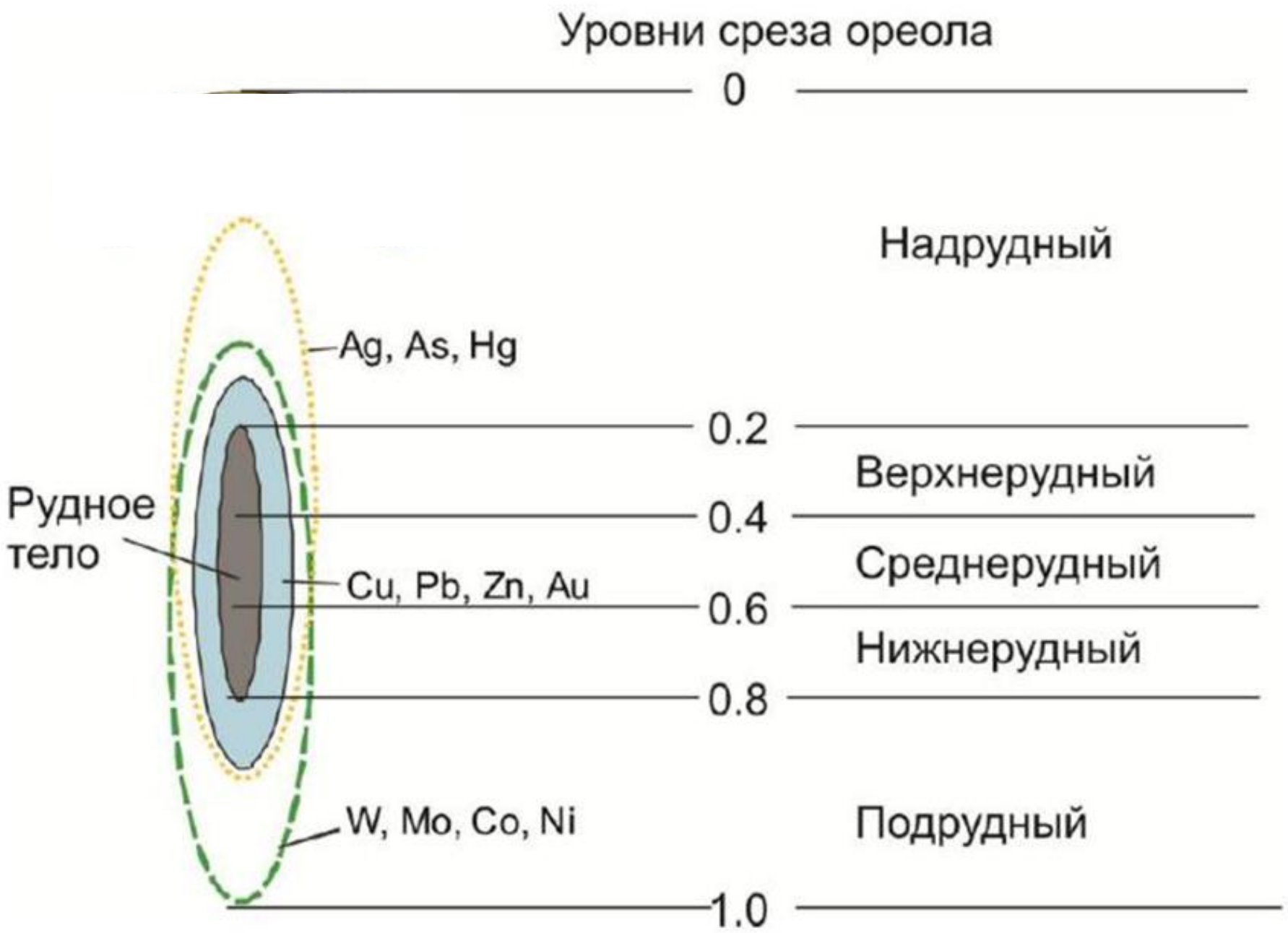
Вертикальная зональность ореолов.

Ореолы Ba и As развиты выше по разрезу рудных тел. Ореолы Ag, Pb и Zn (рудных элементов на месторождении) развиты вокруг рудных тел. Ореолы Mo, Co, Cu и Bi находятся ниже рудных тел.

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
0
Надрудный
Ag, As, Hg
0.2
Верхнерудный
Рудное тело
0.4
Среднерудный
Cu, Pb, Zn, Au
0.6
Нижнерудный
0.8
W, Mo, Co, Ni
Подрудный
1.0

Элементы, добываемые из гидротермальных месторождений

основные металлы - **Cu**, **Zn**, **Pb**, Au, **Mo**, Sn, **W**, U, Mn, Ba

микроэлементы – **Ag**, As, **Sb**, **Bi**, **Cd**, **Hg**, Co, **Te**, Ga, **In**, **Re**