

# Гидротермальные месторождения

Д.Ц. Аюржанаева

- К гидротермальным относятся месторождения, общим генетическим признаком которых является их образование из глубинных горячих минерализованных растворов в результате отложения рудного вещества в дренирующих структурах по ходу движения гидротермального потока.

Термин «гидротермальные» впервые применил французский геолог Л. Де Лоне в 1897 г.

- В них сосредоточено почти все запасы молибдена, 3/4 запасов коренных руд олова, почти половина запасов вольфрама, меди, свинца и цинка, урана и других металлов. Из гидротермально-метасоматических месторождений извлекается большое число редких и рассеянных металлов: германий, кадмий, индий, селен, теллур, рений, галлий и многие другие. К этой группе принадлежат все месторождения асбеста, талька, магнезита, исландского шпата, оптического кварца и др.

- Гидротермально-метасоматические месторождения группируются по различным признакам

### *1. По температуре:*

- Высокотемпературные – 500 – 300°C
- Среднетемпературные 300 - 200°C
- Низкотемпературные – менее 200° С

### *2. По глубине образования*

- Умеренных и значительных глубин – 1-3 км и более
- Малых глубин и приповерхностные - < 1 км.

### *3. По механизму рудоотложения (Бэтман, 1949, Овчинников, 1968)*

- Путем выполнения трещин и их систем (а – жильные, б – штокверковые);
- Путем метасоматического замещения (а – сплошные, б – вкрапленные)

- По стадиям развития магматического очага и составу гидротермально измененных вмещающих пород различаются мест-я, сформированные

- 1) в раннюю стадию становления магматического очага (оруденение старше пород дайковой фации);
- 2) в позднюю стадию становления магматического очага (оруд-е моложе всех п-д дайковой фации) и
- 3) при отсутствии выходов гранитоидов.

- Три различных генетических класса гидротермальных мест-й:
- 1. вулканогенно-гидротермальные м-я, образованные в условиях открытых структур и связанные с проявлением близповерхностного вулканоплутонического магматизма с шир вовлеч в рудообраз процесс экзогенных вадозных вод.
- 2. плутоногенно-гидротермальные мест-я, формировав-ся в закрытых гидротер-х системах, главным источником энергии, гидротерм и вещ-ва яв-ся глубинный коровый гранитоидный магматизм.
- 3. метаморфогенно-гидротермальные мест-я обусловленные участием в рудообразовании раст-ов, возникающих в процессе метаморфизма в рез-те разогрева и обезвоживания пород.

## Гидротермальные рудообразующие системы; элементы, параметры.

- Под г/т-ми рудообразующими системами понимают приуроченные к определенным структурам земной коры сложные флюидно-водные потоки, объединенные общим источником энергии и единым гидродинамическим механизмом движения, в областях разгрузки которых развиваются интенсивный метасоматоз, минерало- и рудообразование.
- Системы эти приурочены к проницаемым зонам, в частности к глубинным разломам, открыты для конвективного теплопереноса.

# Общие представления о гидротермальном растворе

- *Под гидротермальным раствором* понимают нагретые до  $T=200-600^{\circ}\text{C}$  многокомпонентные газово-жидкие растворы сложного состава, циркулирующие в недрах гидротермальных систем.
- Основным компонентом гидротерм является *вода*. Различают **магматическую или ювенильную, метаморфическую и поровую (вадозную) воду и инфильтрационные воды глубокой циркуляции.**
- *Магматическая вода* отделяется от магматических расплавов любого состава в процессе их подъема к поверхности и кристаллизации. Наибольшее кол-во ее заключено в гранитоидных магмах (до 13 вес.% при  $\text{PH}_2\text{O}$  (водяного пара до 5000 атм.)
- *Метаморфич-я вода* образ-ся вслед-е высвобождения ранее химически связанной и поровой воды из горных пород при их метаморфизме на глубине под воздействием выс давл и темпер. В осадочных породах содержание различных видов воды (поровой, пленочной, капиллярной, конституционной) достигает 30%  $\text{H}_2\text{O}$  и более.
- Верхние части гидротермальных систем тесно связаны с окружающими подземными водами, обычно в значит-ой степени минерализованными. Это воды *артезианских горизонтов и инфильтрационные воды* глубокой циркуляции.
- Формирование гидротерм-х систем происходит путем смешения ювенильного флюида с метаморфогенными и инфильтрационными водами в рамках конкретной гидрогеологической структуры. Питание энергией г/терм системы осущ-ся при помощи эндогенного флюида, доля кот-го в гидротермах достигает 25%.



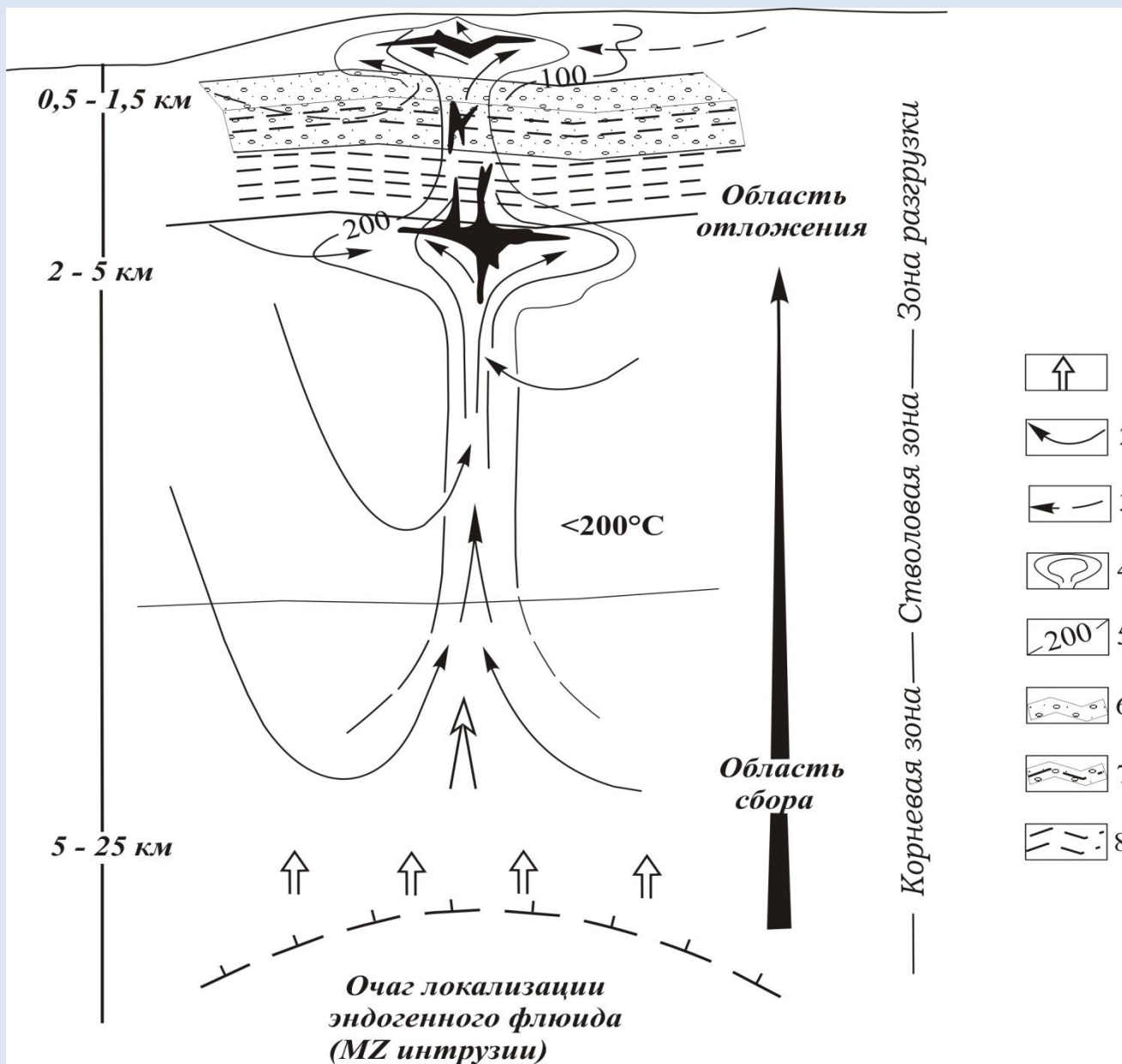
- Вещество гидротермных берется из трех источников по В.И. Смирнову, 1982:
- ювенильный (мантийный), -интрателлурические эманации, отделяющиеся от от мантийного вещества в процессе его дегазации;
- ассимиляционный (коровый), связанный с очагами гранитоидной магмы;
- фильтрационный – мобилизация вещ-ва агрессивными гидротерм-ми растворами различного происхождения из пород, по кот-м они проходят. (выщелачивание из пород).
- Интрателлурические растворы-восходящий поток высоконагретых растворов наиболее летучих и подвижных компонентов ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $HCl$ ,  $H_2S$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$  и др). Такие р-ры выносят металлы (медь, свинец, никель и др.), фтор, формирующий большую группу флюоритовых месторожд-й областей тектономагматич активизации, серу, ртуть и др.

- Общие вопросы строения и функционирования г/т-ых систем впервые были рассмотрены Г.Л. Пospelовым (1962). Он предложил выделять в этих системах – «фильтрующихся термогидроколоннах» - три основные зоны с различным гидродинамическим режимом: корневую, стволую и зону разгрузки (рис. ).

- *Корневая зона*, располагающаяся на значительной глубине, представляет собой область, где происходит концентрирование флюида, стягивание его к стволу и мобилизация химических элементов. Восходящий флюидный поток складывается из «фонового» мантийного потока, от гипабиссальных очагов и воды, выделяющейся при дегидратации минералов в зоне прогрева пород.

- *Стволуая зона* – зона транзита – приурочена к разломам, зонам трещиноватости, по которым движется к поверхности горячий флюидный поток сравнительно малого сечения, увлекая с собой латеральный поток подземных вод, циркулирующих в гидрогеологических структурах, и нисходящие инфильтрационные воды. Поскольку нагретые воды имеют повышенную проницаемость и меньший удельный вес, здесь формируется мощная напорная стистема высоконагретых струй с температурой 600-400 С, осуществляя транспорт большого кол-ва вещ-ва и энергии.

- *Зона разгрузки* – область резкого падения давлений и температур – обычно совпадает с поступлением г/т-ых растворов в очень пористые, трещиноватые и дробленые породы верхних частей земной коры или с выходом гидротерм на поверхность в виде горячих струй. Зона разгрузки контролируется тектоническими барьерами.



1 — восходящий поток глубинного флюида; 2 — нисходящие инфильтрационные воды глубинной циркуляции и вода, выделяющаяся при дегидратации пород на глубине; 3 — подземные вадозовые воды; 4 — контур гидротермальной системы; 5 — изотермы гидротермальной системы ( $^{\circ}\text{C}$ ); 6- кварциты; 7 — серицитовые кварциты; 8 — углисто-кварц-серицитовые сланцы, углеродистые сланцы.

— Корневая зона — Стволовая зона — Зона разгрузки

Область сбора

Область отложения

Очаг локализации эндогенного флюида (MZ интрузии)

0,5 - 1,5 км

2 - 5 км

5 - 25 км

$< 200^{\circ}\text{C}$

- 1 ↑
- 2 ↙
- 3 ←
- 4 (contour)
- 5 200
- 6 (quartzite texture)
- 7 (sericitic quartzite texture)
- 8 (slate texture)

## Физико-химическая обстановка гидротермального рудообразования

**Химический состав растворов.** Представления о солевом составе гидротермальных рудообразующих раст-ов основыв-ся **на данных хим анализа вод** современных термаль источников, отлагающих рудн минералы, **на составе газовой-жидких включений в минералах**, а также на материале изучения **минер-го состава рудных тел и зон околорудных изменений**.

Основными компонентами г/т раст-ов, **помимо воды**, яв-ся **углекислота, кремнекислота и хлориды щелочей**. В меньших концентр-ях устанавли-ся сульфат-ион, фтор, кальций, литий, магний, а из газовых компонентов-азот, водород, метан. Для некот-х типов гидротерм хар-но присутствие соединений серы. Химический состав гидротерм можно определять соотношением элементов катионной ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) и анионной ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) групп. В малых количествах в растворах присутствуют металлы Fe, Mn, Cu, Pb, W, Sn, Sr, Hg и др. Концентрация растворов находится в пределах 2-16% изредка достигает 40%.

Доминирующая роль в солевом составе растворов играет натрий и хлор. Содержание NaCl в разных месторождениях колеблется в солевом составе гидротерм от 5 до 40% (в среднем 18%). Важным компонентом г/т раств является  $\text{CO}_2$  содержание ее достигает 200-300 г/л. Концентрация F во включениях в минералах во много раз ниже концентрации Cl. Сероводород не превышает 0,1 моль/литр. Сера достигает 10 г/литр. Другие анионы присутствуют в малых концентрациях.

- **Кисотно-щелочные свойства растворов.** Кислотность рудообразующих растворов закономерно изменяется в ходе минералообразования.
- Коржинский выделил 4 стадий:
  - 1) раннюю (высокотемпературную) щелочную;
  - 2) кислотную;
  - 3) позднюю щелочную, наступающую с понижением температуры; 4) заключительную нейтральную.
- Выдвинул гипотезу «опережающей волны», согласно модели, в потоке гидротермальных растворов, вследствие кислотного фильтрационного эффекта, возникает опережающая волна кислотных компонентов, фильтрующихся быстрее основных компонентов.
- Постепенное охлаждение раствора приводит к направленному изменению его кислотно-основных свойств. Хлоридные и углекислые растворы оказываются более щелочными, чем чистая вода, при высоких температурах затем, по мере понижения  $t$  они опускаются в более кислую область и, переходя через минимум, вновь приобретают щелочные значения.
- Падение давления всегда способствует появлению щелочных стадий.
-

# Форма переноса минеральных соединений

## Главные параметры гидротермальных систем

### Температура.

- В общем виде развитие процесса г/т рудообразования происходит в направлении от высоких давлений и температур к низким.
- Минералообразование в г/т м-ях происходит **в усл падения темп.** Начальная Т г/т процесса  $600^{\circ}\text{C}$ , затем, постепенно понижаясь, она достигает  $50-40^{\circ}\text{C}$ . На одном из свинцово-цинковых местор Кавказа температур падает от  $250$  до  $40^{\circ}\text{C}$ , в аналогичных мест-ях Заб-я – от  $450$  до  $75^{\circ}\text{C}$ , в Березовском и Качкарском золоторудных мест-ях соответственно от  $420$  до  $70^{\circ}\text{C}$  от  $470$  до  $40^{\circ}\text{C}$ .
- Т образов руд золота не выходит за пределы  $220 - 180^{\circ}\text{C}$ , молибдена –  $370 - 300^{\circ}\text{C}$ , вольфрама –  $350 - 280^{\circ}\text{C}$ . Для кварца характерна одинаковая вероятность его образования в широком интервале температур: от  $400$  до  $100^{\circ}\text{C}$ .

## Давление

- Внутренне давление в г/т сис-ме не соответст-т не то гидростатич-му (100 атм/км), но и литостатич-му (250 – 270 атм/км). Оно больше, и именно благодаря избыточн давлению происходит восходящее движ-е г/т растворов.
- Рудообразов осущ-ся при давл от неск-х единиц и первых сотен до 2000 бар. Ранние высокотемп минер-ые ассоциации формируются при более выс давл, чем поздние. Для близповерхн-х вулканогенно-г/тер мест-ий хар-ны колебания давления. Н-р в Чукотке на золото-серебр м-и во время рудн процесса давл колебалось от 280 до 5 бар.



## **Современные гидротермальные месторождения**

- Это термопроявления в областях новейшей тектономагматической активизации, сопровождающейся восходящим потокам гидротерм с температурами 200-300°C на глубинах в первые сотни метров и интенсивным минералообразованием в зоне разгрузки. Они используются как источники энергии (геотермальные мест-я), как бальнеологические. Геотерм. Мест-ми наз-т естественные скопления в верхних горизонтах земной коры горячих газов, паров, термальных вод. Электростанции в Италии, Новой Зеландии, США, Японии, Исландии, Мексике, на юге Камчатки.
- **Геологические условия локализации месторождений**  
Современные гидротермальные системы приурочены к глобальным континентальным и срединно-океаническим поясам альпийского орогенеза. Они широко развиты в пределах Тихоокеанского сегмента Земли, в вулканах Камчатки, Курильских островов Японии, Н. Зеландии и тяготеют к зонам повышенной плотности эпицентров коровых землетрясений.