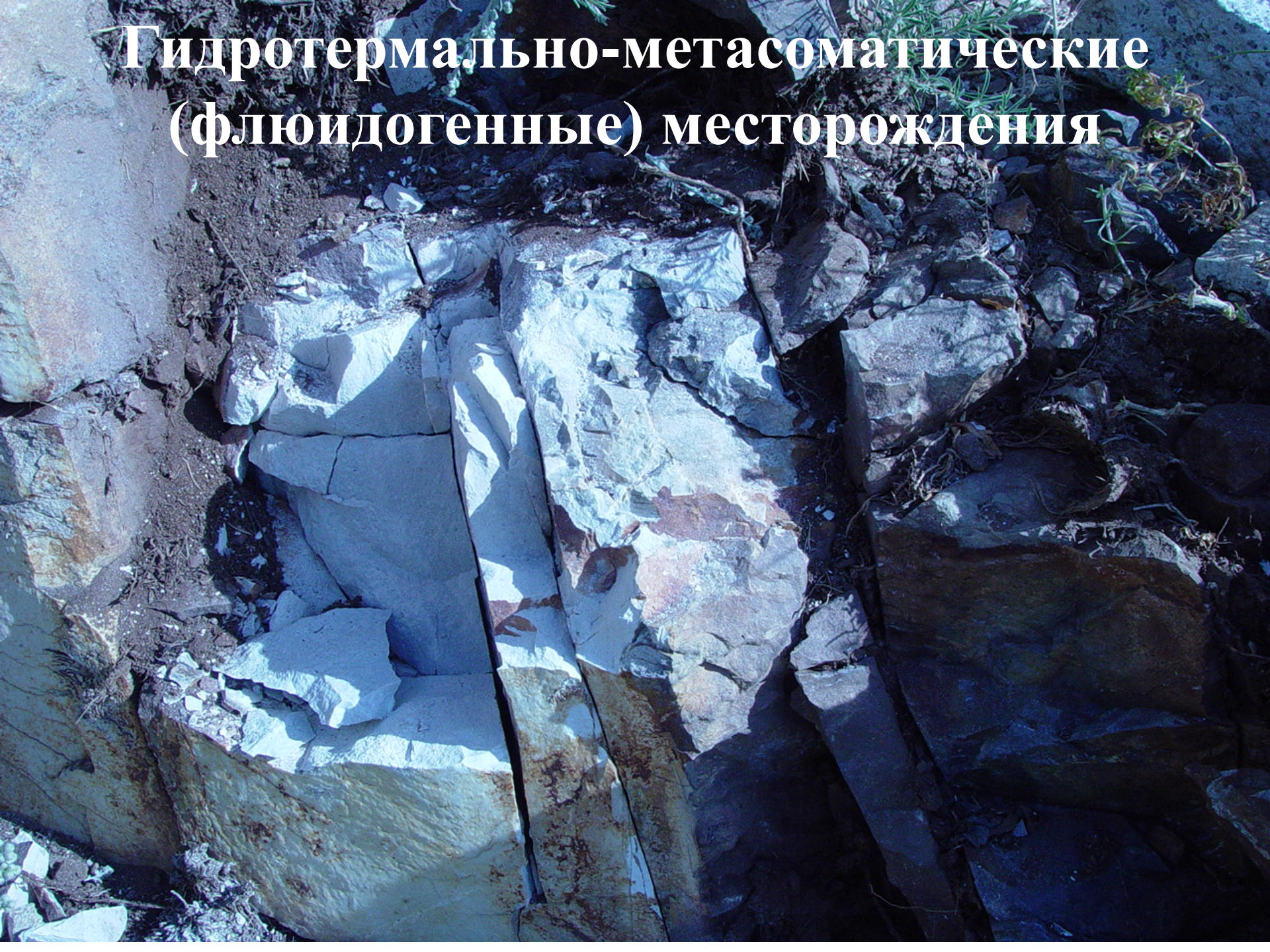


# Гидротермально-метасоматические (флюидогенные) месторождения



**Флюидогенные месторождения создаются циркулирующими под поверхностью земли горячими минерализованными газово-жидкими растворами.**

Скопления полезных ископаемых флюидогенного происхождения возникают как вследствие отложения минеральных масс в пустотах горных пород, так и в связи с замещением последних. Поэтому ***форма тел флюидогенных месторождений зависит, с одной стороны, от морфологии рудовмещающих полостей, а с другой стороны, от очертаний замещаемых пород.***

Наиболее типичны для гидротермальных месторождений различные жилы. Часто встречаются штоки, гнезда, штокверки, линзы, пластообразные залежи и сложные комбинированные тела

- **Размеры** тел самые разные. Так, например, Материнская жила в Калифорнии прослежена на 200 км.

Обычно их размеры много меньше.

По глубине некоторые жилы уже прослежены более чем на 4 км (месторождение Колар в Индии).

- Тела полезных ископаемых флюидогенного происхождения обычно *расположены среди разнообразных пород, подвергшихся изменению в процессе гидротермально-метасоматического рудообразования*. Они, как правило, *окаймляются ореолами рассеянной минерализации*, постепенно затухающими на их периферии.

В связи с этим *тела полезных ископаемых часто не имеют четких границ и оконтуриваются по данным опробования на основе устанавливаемого минимально промышленного содержания полезного компонента*.

Доказательством возможности образования месторождений из гидротермальных растворов служат современные гидротермальные системы.

- **Какова же природа флюидогенных месторождений?**
- **Откуда берется гидротермальный раствор?**
- **Где источник воды и ценных элементов?**
- **Каковы условия рудоотложения?**

Транспортирующая среда во всех случаях будет газовой-жидкой.

**Какова же природа  $H_2O$  и растворенных в ней газов в этой системе?**

Однозначного ответа нет и быть не может.

На сегодняшний день эти источники могут быть подразделены на:

**1.  $H_2O$  ювенильная (юная, глубокая)**

а)  $H_2O$ , выделившаяся из магмы при ее кристаллизации;

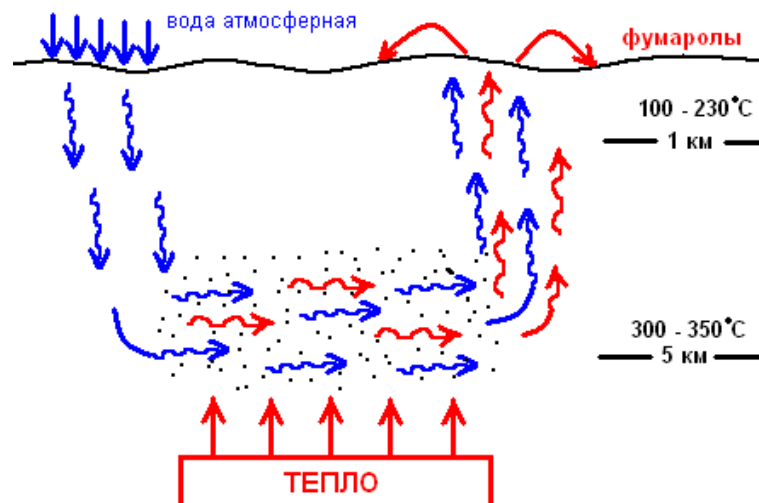
б)  $H_2O$  мантийного происхождения (дегазация мантии, ядра)

**2.  $H_2O$  метеорная (вадозная), атмосферная**

**3.  $H_2O$  метаморфическая**

Вся история учения о МПИ пронизана борьбой плутонистов и нептунистов, и эта борьба будет продолжаться, так как определить чистую компоненту  $H_2O$  пока невозможно.

Можно лишь говорить, с той или иной степенью вероятности, о преобладании той или иной составляющей  $H_2O$ .



Под термином «**ювенильные**» геологи понимают **воды, которые никогда прежде не участвовали в водообороте.** Такие гидротермы в прямом смысле слова являются **первичными, новообразованными.** Полагают, что подобным образом сформировалась вся поверхностная гидросфера морей и океанов в эпоху молодой магматической активности планеты, когда только зарождались твердые консолидированные «острова» материковых платформ.

Прямой противоположностью «ювенильных» вод являются воды **инфильтрационного** происхождения. Если «ювенильные» воды, отделяясь от магматического расплава, поднимаются к поверхности, то преобладающее движение инфильтрационных вод – от поверхности вглубь. Источник вод этого типа представляет собой атмосферные осадки или вообще поверхностные водотоки.

По поровому пространству пород или трещинным зонам эти воды проникают (инфильтруются) в более глубокие горизонты. По пути движения они насыщаются различными солями, растворяют подземные газы, нагреваются, отбирая тепло у водопроницающих пород.

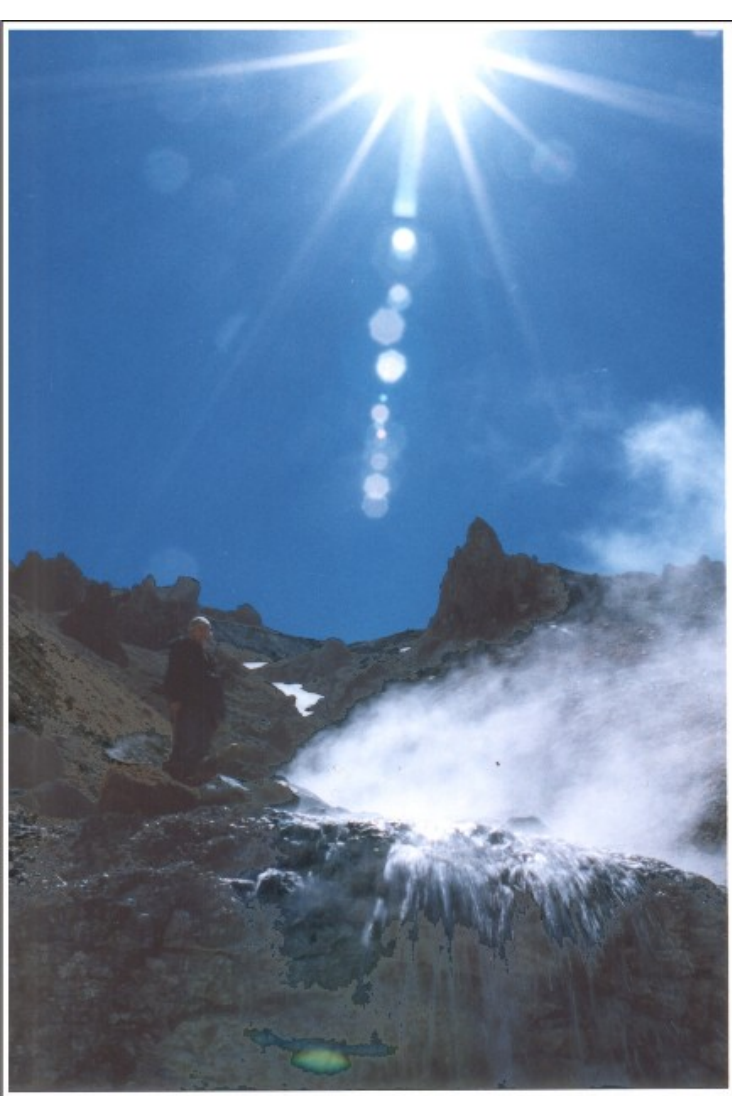
В зависимости от глубины проникновения инфильтрационных вод они становятся более или менее нагретыми. При средних геотермических условиях для того, чтобы инфильтрационные воды стали термальными (т.е. с температурой более 37 °С), необходимо их погружение на глубину **800-1000 м**.

Инфильтрационные гидротермы способны изливаться на поверхность в виде горячих источников, если существует возможность разгрузки воды на поверхность по разломам, выклиниваниям слоев, что происходит в более низких относительно области питания участках.

Причем, чтобы вода оставалась термальной, подъем ее к поверхности должен происходить очень быстро, например, по широким трещинам разломов. При медленном подъеме гидротермы остывают, отдавая аккумулированное тепло вмещающим породам. Однако, *если пробурить скважину на глубину 3-4 тыс. м и обеспечить быстрый подъем воды, можно получить термальный раствор с температурой до 100 °С*. Все это касается областей со средними геотермическими показателями и не относится к вулканическим районам или зонам недавнего горообразования.

**Вулканический** тип термальных вод следует выделить особо. Горячие источники вулканических районов нельзя целиком считать «ювенильными», т. е. магматическими. Опыт исследований показывает, что *в подавляющем случае вода вулканических терм имеет поверхностное инфильтрационное происхождение*. Помимо гейзеров вулканический тип гидротерм включает грязевые грифоны и котлы, паровые струи и газовые фумаролы.

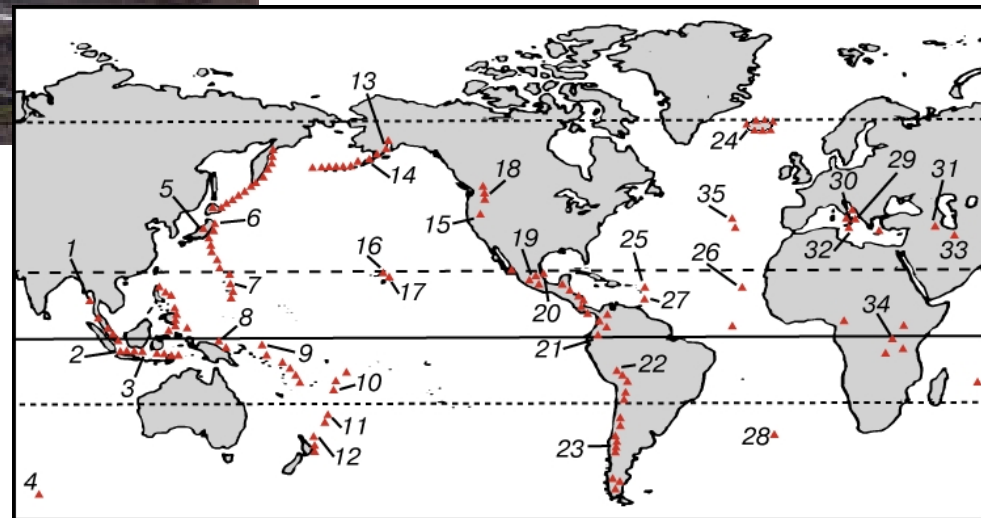




Июльское фумарольное поле, образованное в результате активизации влк. Эбеко в 2005 г. Фото С.Н. Рычагова 16.09.2008 г.

Разгрузка парогидротерм в верховьях р. Юрьева. Фото А.В. Сокоренко.

# Геотермальные источники



**Метаморфогенные воды** – это тоже специфический тип вод. Они представляют собой воды, выделяющиеся из пород, подвергшихся прогрессивному метаморфизму. Источником растворов являются поровые воды, содержащиеся в порах осадочных пород и магматических пород и воды, связанные в кристаллической решетке минералов. Метаморфизм приводит к изменению (уменьшению) пористости пород и дегидратации минералов.

Согласно Г.Войткевичу и Г.Лебедеенко, свежий осадок может содержать до 60% воды, в зоне диагенеза сохраняется 20-30%, в породах зеленосланцевой фации – 4%, амфиболитовой -2 – 1 % , гранулитовой – 0,5%.

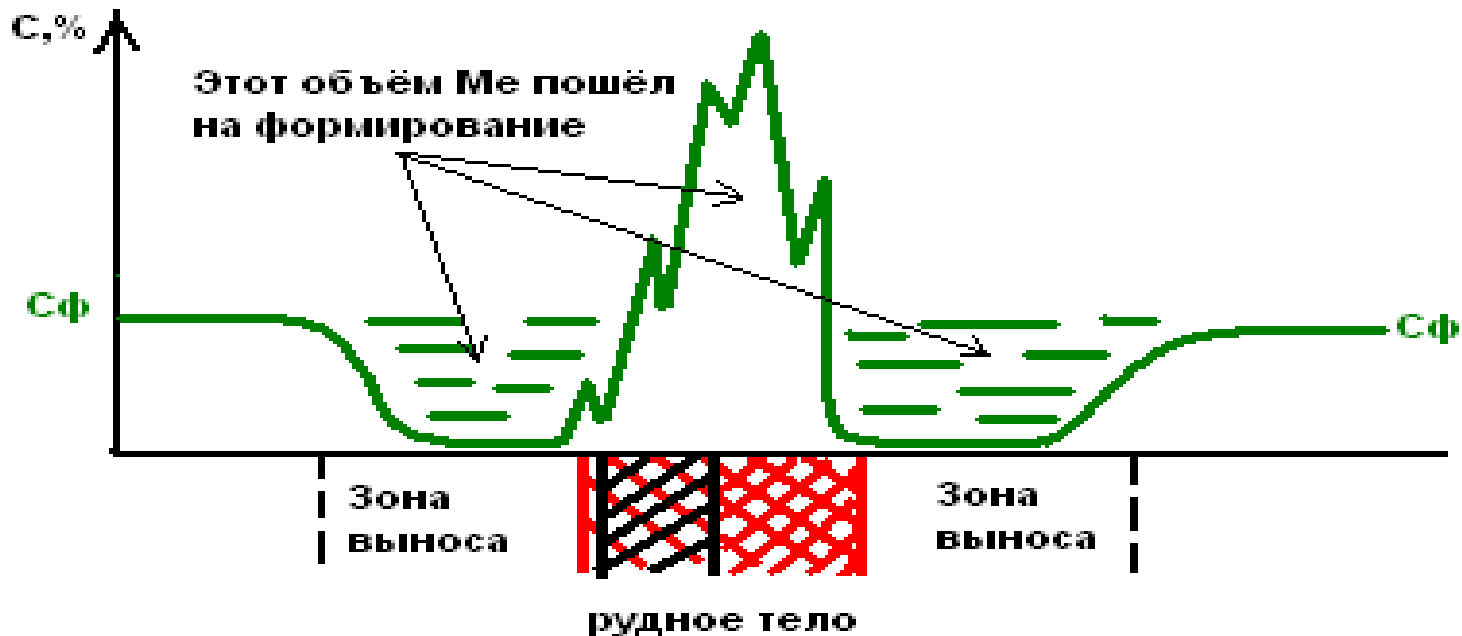
Один км<sup>3</sup> глинистых осадков дает при метаморфизме 200 млн.т воды (Смирнов, 1989).

# Источники металлов в растворе те же, что и источники воды:

Магматический

Мантийный

Вмещающие породы



# Способы переноса металлов

Истинный раствор

Коллоидные растворы

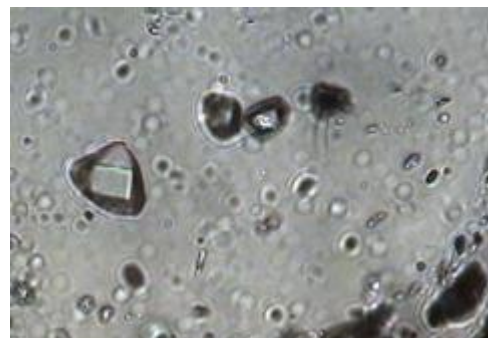
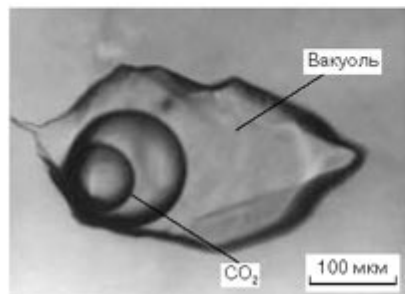
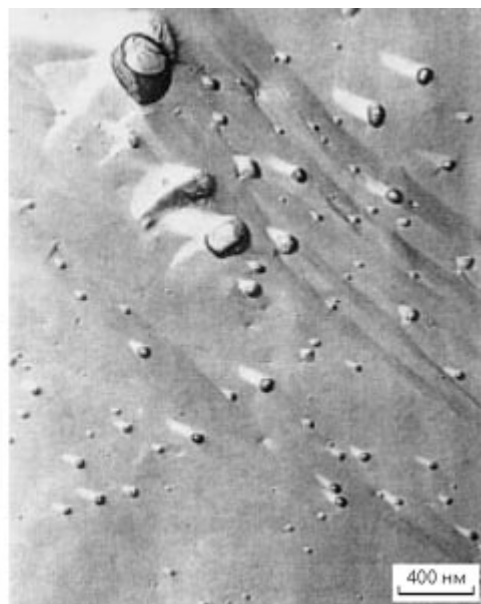
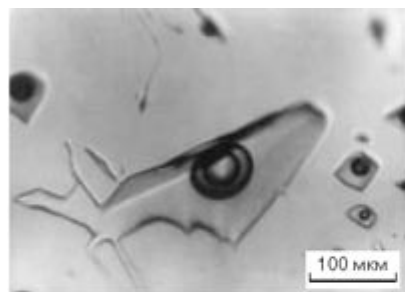
Нанокластеры

В легкорастворимых соединениях ионных растворов

В легкорастворимых комплексных соединениях

**Температура формирования флюидогенных месторождений весьма различна и колеблется от 50 до 600 °С.**

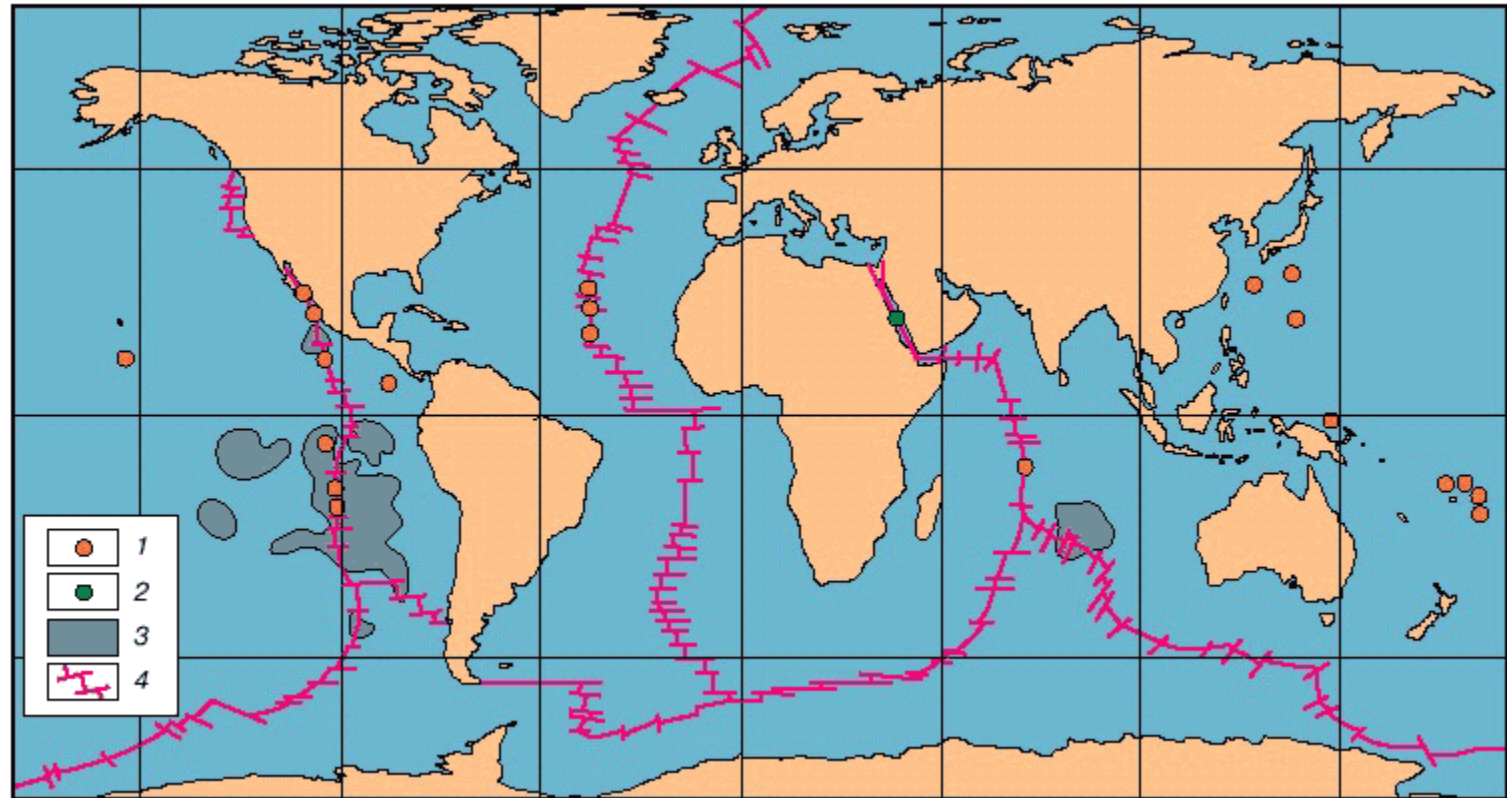
Температуру в современных гидротермах определяют прямым измерением, в древних – изучая газово-жидкие включения (вакуоли), используя минералы-геотермометры и др. методы.



Критическая температура воды – 374 °С при давлении 218 атм.

# Современные гидротермы

- К **эпитермальным** источникам обычно относят источники горячей воды с температурой 50-90 °С, расположенные в верхних слоях осадочных пород, куда проникают почвенные воды.
- К **мезотермальным** источникам относят источники с температурой воды 100-200 °С.
- В **гипотермальных** источниках температура в верхних слоях превышает 200 °С и практически не зависит от почвенных вод.



Распространение современных гидротермальных построек и металлоносных осадков в океанах: 1 - гидротермальные постройки и сульфидные руды, 2 - илы с сульфидами (стратиформные залежи), 3 - металлоносные осадки (по данным Дж.П. Кеннета и С.Г. Краснова), 4 - рифтовые зоны





Рис. 2. Схема строения "черного курильщика".



Фотографии черного курильщика



Таблица 1. Химический состав воды "курильщиков".

	Морская вода	Восточно-Тихо-океанское поднятие		Хребет Хуан-де-Фука	
		21° с.ш.	11° с.ш.	45° с.ш.	осевая гора
Температура, °С					
	2	273	354	262	299
pH (при 25°С)					
	7,8	3,8	3,1	2,8	4,4
Содержание, г/кг					
Cl	19,18	20,53	25,24	44,1	6,24
Na	10,67	11,72	12,67	16	3,4
SO <sub>4</sub>	2,68	—	—	—	—
Mg	1,293	—	—	—	—
Ca	0,409	0,834	2,152	4,369	0,409
K	0,383	1,009	1,075	2,295	0,273
SiO <sub>2</sub>	0,0096	1,172	1,166	1,442	0,811
CO <sub>2</sub>	0,101	0,252	—	—	12,543
Содержание, мг/кг					
H <sub>2</sub> S	—	225	279	63,8	613
Fe	—	48,6	579	916	0,67
Mn	—	55	161	233	7,8
Zn	—	2,6	0,33	34	0,144
Cu	—	0,0013	—	0,089	0,025
Pb	—	0,038	0,0056	0,203	0,021



Рис. Галапагосский рифт. Цепочки крупных двустворок *Calymene magnifica* (а), расположенных вдоль трещин, из которых просачивается разбавленный гидротермальный рудоносный раствор. Скопление гигантских погонофоров *Riftia pachytila* (вестиментифер) на стенке "черного курильщика". Видны крабы, модиолы и рыбы (б) (по данным Л. Лобье).

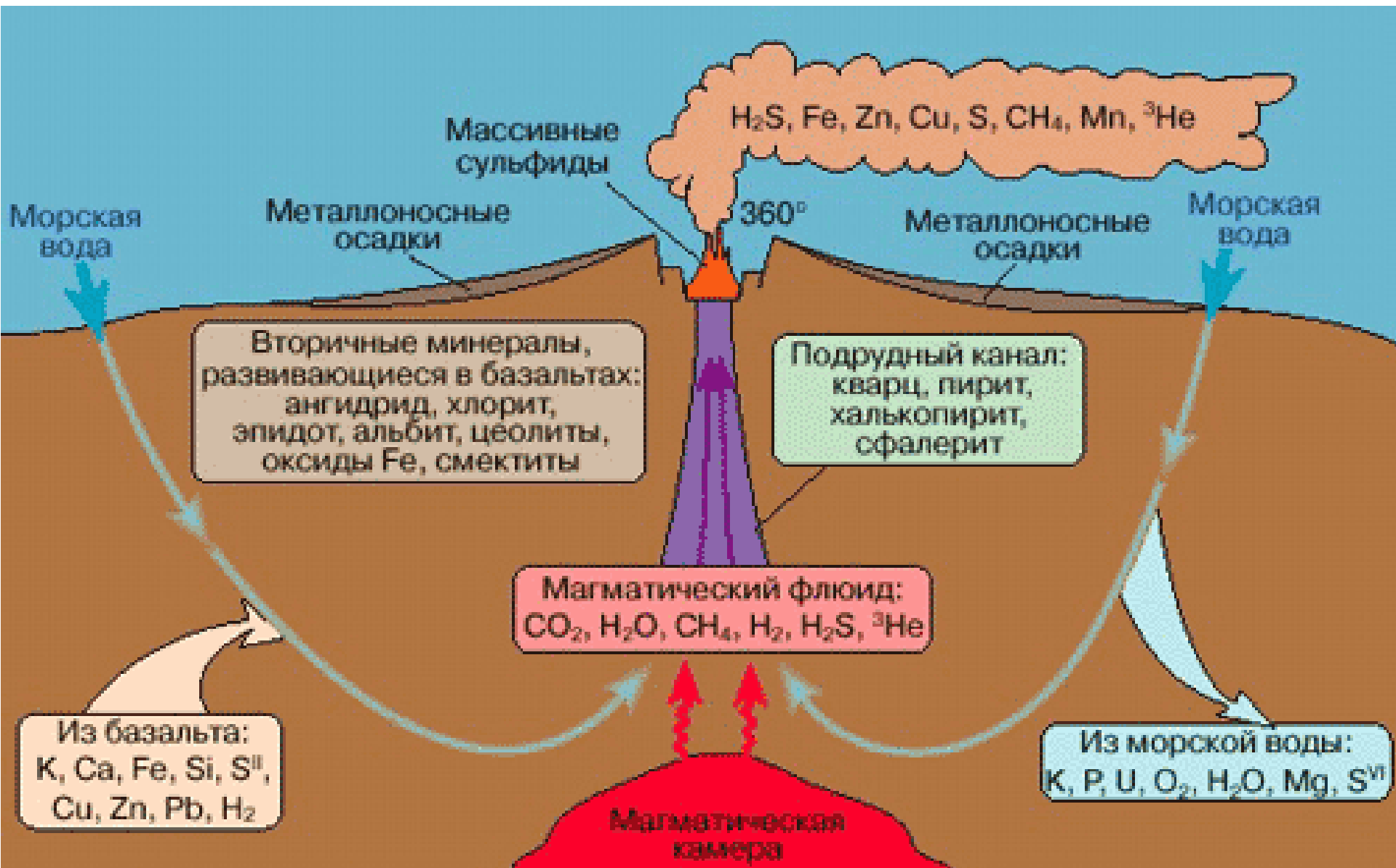


Схема геохимических процессов в гидротермальной системе срединно-океанического хребта (по данным Д.В. Гричука).

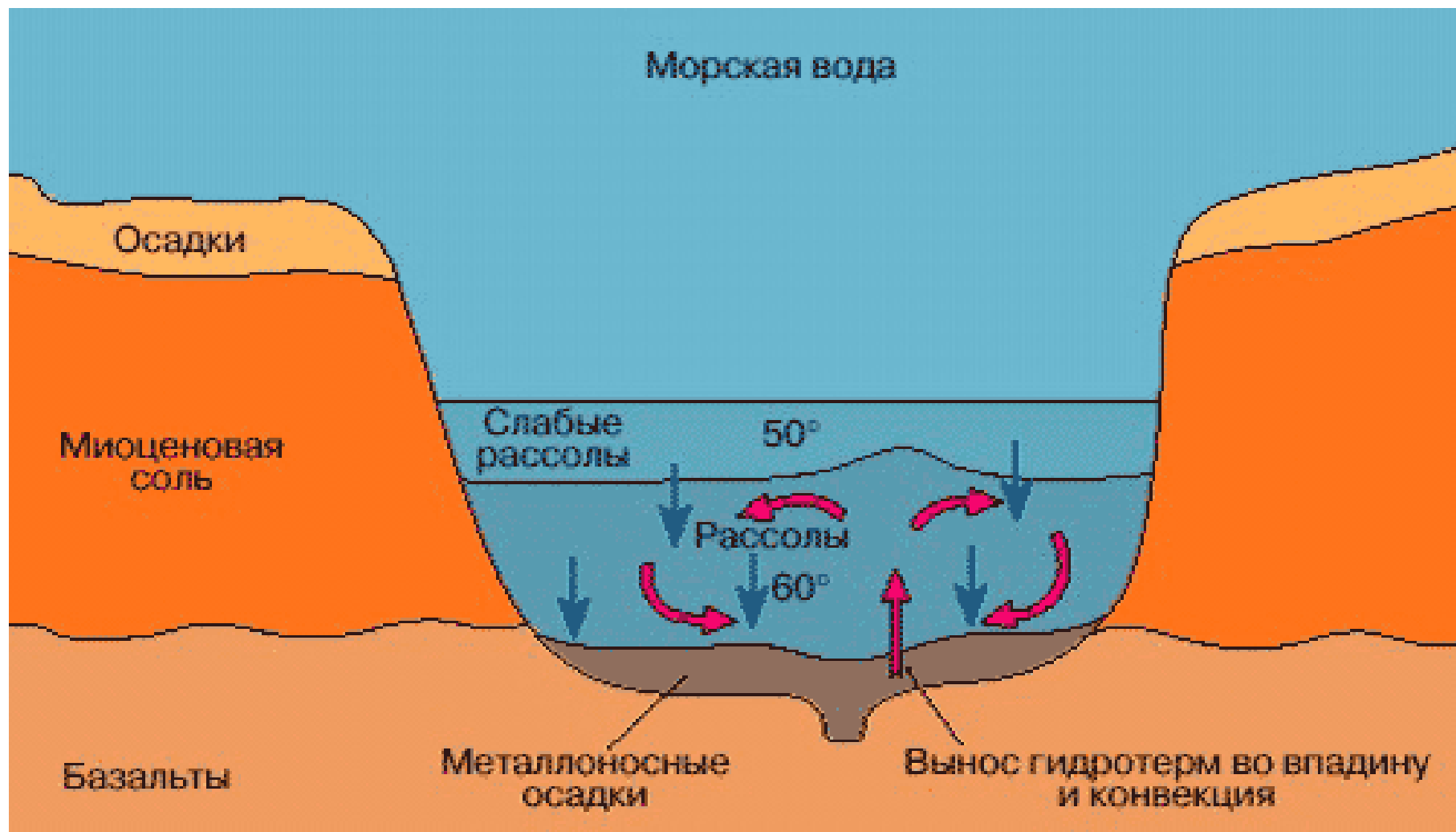


Рис. Формирование металлоносных осадков во впадине Атлантис II Красного моря (по данным С.Г. Краснова).

# Современные гидротермы



Гидротермы\_(чёрные\_курильщики).mp4

Согласно подсчетам, горячие воды (80-90 °С) Узун-Гейзерной системы на Камчатке за 100 тыс лет вынесли (в тыс.т.): As 26, Sb 5, Hg 2,5, Zn 2, Pb и Cu по 2,5 каждого.

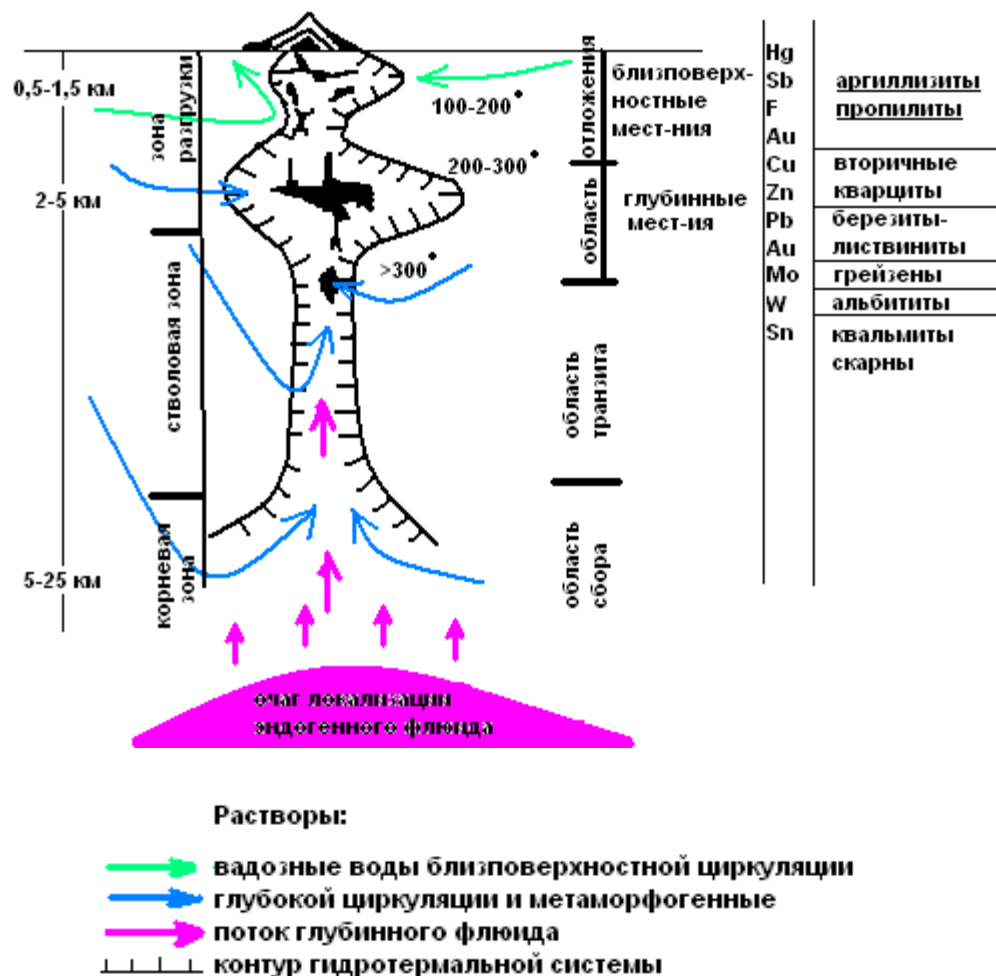
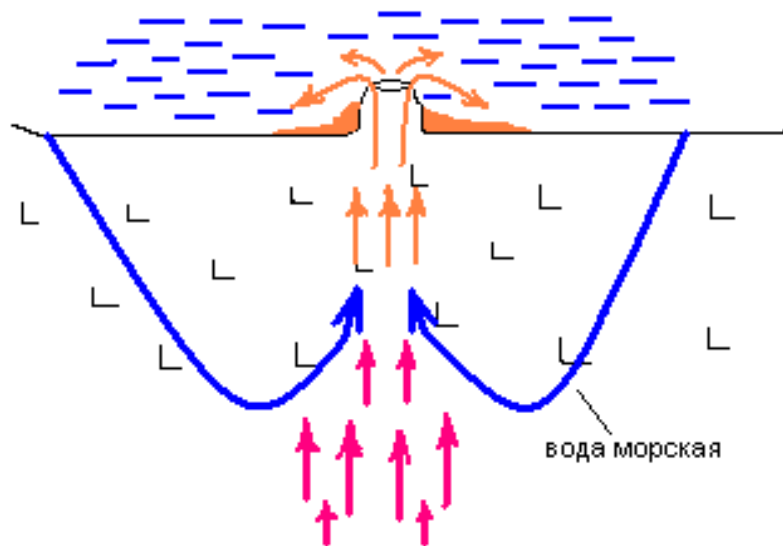
Грандиозные фумаролы «Долины десяти тысяч дымов» на Аляске ежегодно выделяют свыше млн. тонн соляной и около 200 тыс. тонн плавиковой кислоты.

Горячие воды из скважины в Южной Калифорнии содержат 2 г/т Ag, 15 г/т Cu, 100 г/т Pb и 700 г/т Zn.



# Общая модель гидротермальной системы

Модель рециклинга



**Метасоматоз и его роль в**  
**процессах**  
**постмагматического**  
**рудобразования**

# Геологические структуры

При изучении флюидогенных месторождений намечаются бывшие пути движения рудоносных растворов с разделением структурных элементов, определяющих эти пути, на

*рудоподводящие,*

*рудораспределяющие и*

*рудовмещающие.*

***Рудоподводящими*** являются геологические структуры, которые могут рассматриваться в качестве ***каналов***, определивших места поступления рудоносных расплавов и растворов из глубинных частей в пределах рудного поля

В качестве рудоподводящих чаще всего описываются ***крупные разломы***, вдоль которых располагаются отдельные рудные поля, месторождения и тела. Такими же магистральными рудоподводящими каналами в складчатых областях могут быть ***хорошо проницаемые пласты или свиты пластов***. Следует отметить, что сами рудоподводящие каналы не везде вмещают рудные тела, хотя несут следы гидротермальной минерализации.

***Рудораспределяющими*** называются геологические структуры, по которым ***рудоносные растворы отводятся от рудоподводящих каналов на участки рудоотложения***. В качестве рудораспределяющих структур обычно рассматриваются ***разрывы или водопроницаемые пласты, пересекаемые, пересекающие или сопрягающиеся с рудоподводящим каналом***.

***Рудовмещающими*** являются структуры, ***локализующие рудные тела*** и определяющие их форму, размеры и особенности внутреннего строения.

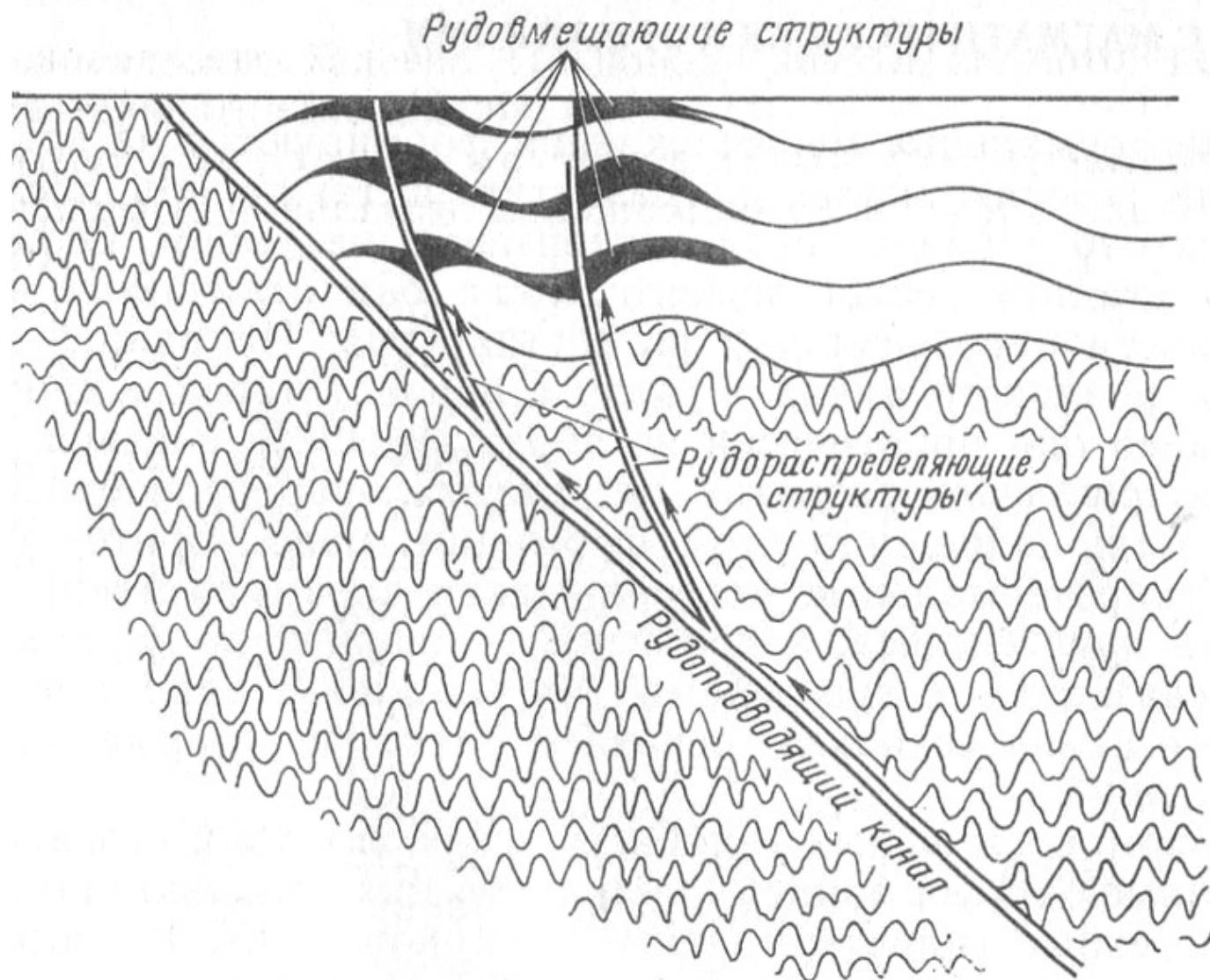


Схема циркуляции рудоносных растворов по системе структур

# Связь с магматизмом

Пространственная связь гидротермальных рудных тел и даек может быть шести главных типов:

а) дайки и рудные тела **встречаются совместно** на участке месторождения, но залегают в самостоятельных геологических структурах—разломах, отслоениях и др.;

б) дайки **пересекаются** рудными жилами, как это, например, имеет место при образовании лестничных жил на Березовском золоторудном месторождении на Урале;

в) дайки **пересекают** рудные жилы, как это отмечается на Хрустальном месторождении олова на Дальнем Востоке;

г) последайковые рудные жилы **выполняют трещины оперения вдоль контактов** даек, как это, например, установлено на золоторудном месторождении Перрон в Канаде;

д) дорудные дайки и рудные жилы **выполняют одни и те же тектонические трещины, располагаясь параллельно**, как это наблюдается на многих гидротермальных месторождениях;

е) **дайки содержат прожилково-вкрапленное оруденение**, как бы пропитываясь рудой

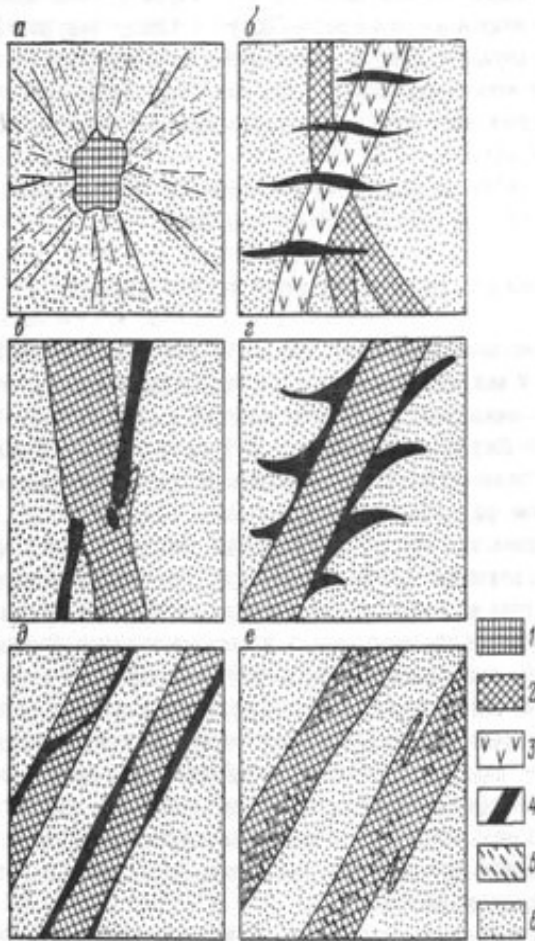


Рис. 56. Соотношение даек и гидротермальных рудных тел:

а — радиально-лучистая система даек (черные линии) и рудных жил (пунктир); б — пересечение рудными жилами двух систем даек; в — пересечение дайкой рудной жилы; г — рудные жилы, выполняющие трещины оперения по контактам дайки; д — развитие оруденения вдоль контактов даек; е — развитие оруденения в телах даек; 1 — вулканический шток; 2 — основные дайки; 3 — кислые дайки; 4 — руда; 5 — вкрапленная руда; 6 — вмещающие породы

# Грейзеновые месторождения

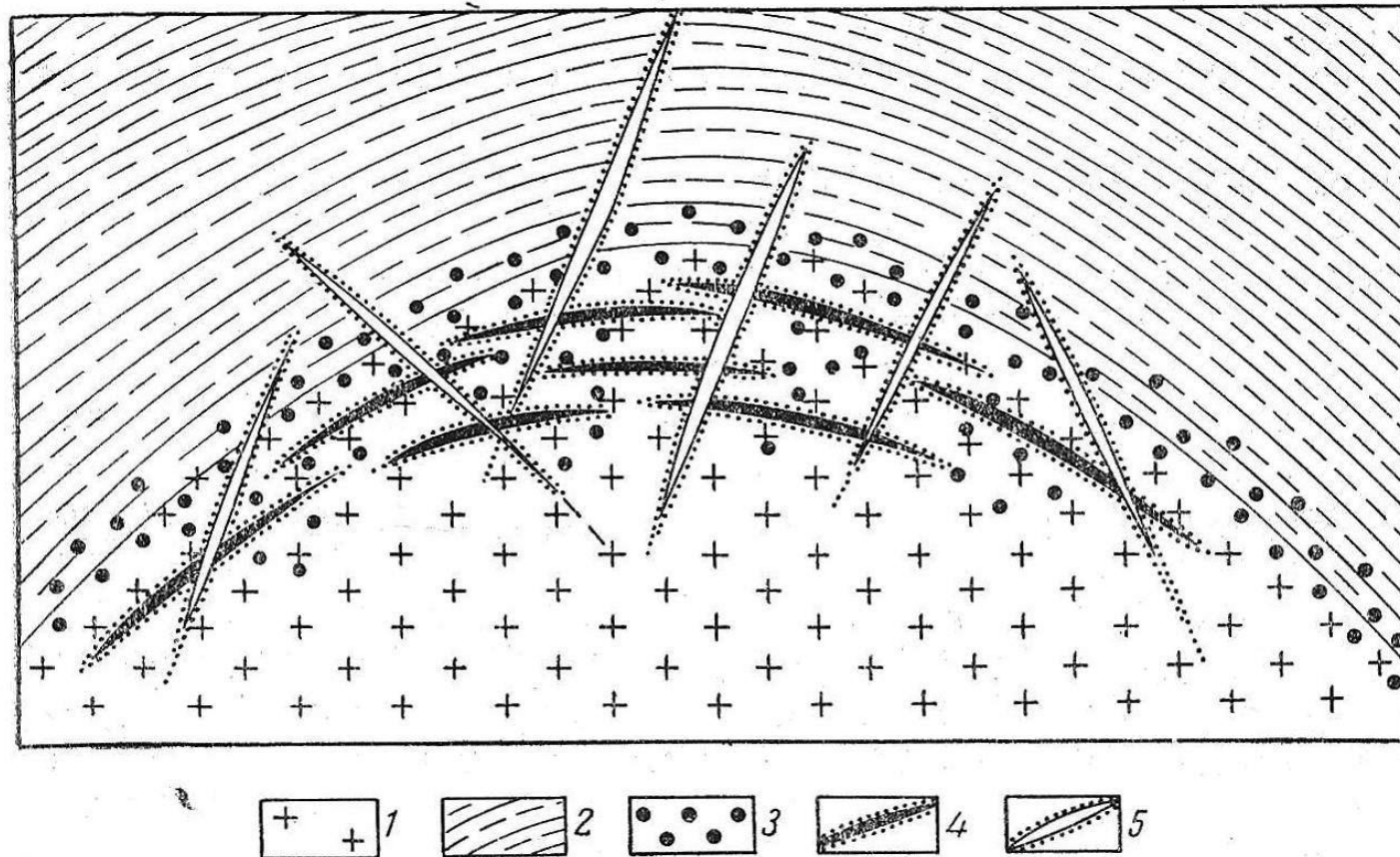


Рис. 102. Схема развития геологической структуры и процесса грейзенизации.  
По *Ив. Григорьеву* (упрощено)

1 — граниты; 2 — песчаники и сланцы; 3 — предрудная массовая грейзенизация гранитов и вмещающих пород; 4 — жильные и штокверковые грейзены ранней стадии; 5 — жильные грейзены поздней стадии



# Скарны и оруденение

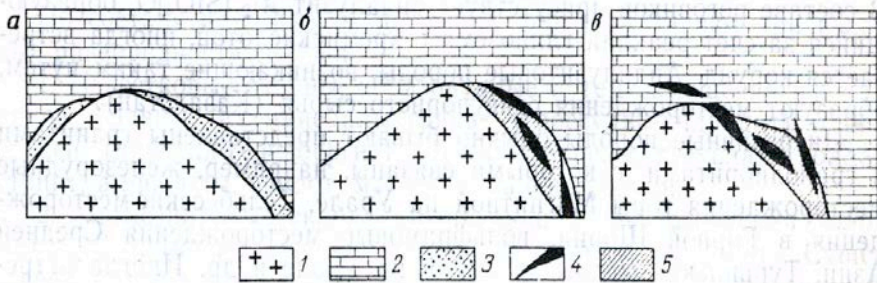


Рис. 52. Типы скарново-рудных месторождений. По Х. М. Абдуллаеву.

*а* — с сопутствующим оруденением, *б* — с отстающим оруденением, *в* — с наложенным оруденением.  
1 — гранитоиды; 2 — известняки; 3 — рудоносные скарны; 4 — руда; 5 — безрудные скарны

*Месторождения с сопутствующим оруденением.* **Формы скарновых и рудных тел совпадают**, пути проникновения и места отложения как скарнирующих, так и рудообразующих растворов одинаковы. Роль тектоники в локализации оруденения незначительна. Рудой здесь являются сами скарны с более или менее однородной рудной вкрапленностью.

*Месторождения с отстающим оруденением.* Формы скарновых и рудных тел не всегда совпадают. **Пути проникновения растворов едины, но места локализации различны.** Рудообразующие растворы являются более поздними, руды отлагались после образования скарнов. Характер распределения руд в скарнах в этом случае определяется внутриминерализационной тектоникой. Рудные тела представлены обособленными линзами, залегающими в зоне скарнов (рис. б).

*Месторождения с наложенным оруденением.* Формы скарновых и рудных тел никогда не совпадают. **Пути проникновения и места локализации растворов для тех и других различны.** Рудный процесс резко отставал от скарнового. Рудные тела пересекают скарновые зоны и залегают не только в скарнах, но и во вмещающих карбонатных породах (рис. в).

## Магнетитовый скарн



1 – известняк доломитизированный; 2- серпентинизированный доломит; 3- скарн амфиболовый (амфибол хлоритизирован); 4 – магнетитовый скарн; 5 – пироксен-гранатовый скарн.

# Скарновое железорудное месторождение Бортолгай





# Классификации флюидогенных месторождений:

## По связи с магматизмом:

- Плутоногенные
- Вулканогенные
- Амагматические
- Колчеданные

## По температуре:

Высокотемпературные (500-300 °С);

Среднетемпературные (300-200 °С);

Низкотемпературные (200-50 °С);

# Полезные ископаемые флюидогенных месторождений

Почти весь спектр металлических полезных ископаемых. Конкретные примеры рассмотрите на практических занятиях.

## **Гидротермальные месторождения:**

- **Высокотемпературные (W, Mo, Au)**
- **Среднетемпературные (полиметаллы, Cu, Au, Ag, Sn и др)**
- **Низкотемпературные (Hg, Sb, Ag и др).**

# Основные формации скарновых месторождений:

- **Железорудные** (гора Магнитная, Высокая, Благодать, Таштагол, Шерегеш, Ангаро-Илимская группа)
- **Меднорудные** (Турьинские медные рудники, Саяк, местор Хакасии)
- **Вольфрамовые** (Киялых-Узень, Туим)
- **Золоторудные** (Синюхинское)
- **Свинцово-цинковые** (Дальнегорское, Юлия и др.)
- **Касситеритовые** (Питкяранта)
- **Боровые** (Дальнегорское и др.)

