

И. А. ХАЙРЕТДИНОВ, В. С. АВЗЯНОВ, Н. А. АНДРИЯНОВА,  
З. В. ЕВДОКИМОВА, Г. И. БЕЛИКОВА

**ТЕРМОБАРИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
КОЛЧЕДАННЫХ РУД ЮЖНОГО УРАЛА**

(Представлено академиком В. И. Смирновым 29 VI 1972)

Нами изучались главным образом месторождения им. XIX партсъезда в Узельга, частично — Учальинский карьер.

Основными методами исследования явились микроскопия газовой-жидких включений (ГЖВ) в прозрачных минералах различных генетических ассоциаций и термовзвучной анализ — преимущественно кварца и кальцита. Предполагалось, что ГЖВ в прозрачных, ассоциирующих с рудными минералах, если эти минералы дорудны или одновременны с оруденением, должны неизбежно представлять и процесс рудной минерализации.

Размеры большинства ГЖВ оказались лежащими в пределах 0,001—0,01 мм по диаметру.  $T_{\text{гом}}$  были определены путем многократного (3 и более)

Таблица 1

Ориентировочные критические давления, ведущие к вскрытию ГЖВ

Минерал	Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>	P в ГЖВ, ведущие к их взрыву, атм.
Кварц	1023—1236	800—960
Кальцит	120—202	85—150 (350±50)
Барит	125—230	90—160 (250±50)
Флюорит	170—200	120—150 (450±50)
Пирит	1145—1375	800—1050
Халькопирит	184—225	130—170
Сфалерит	155—270	125—180 (450±50)

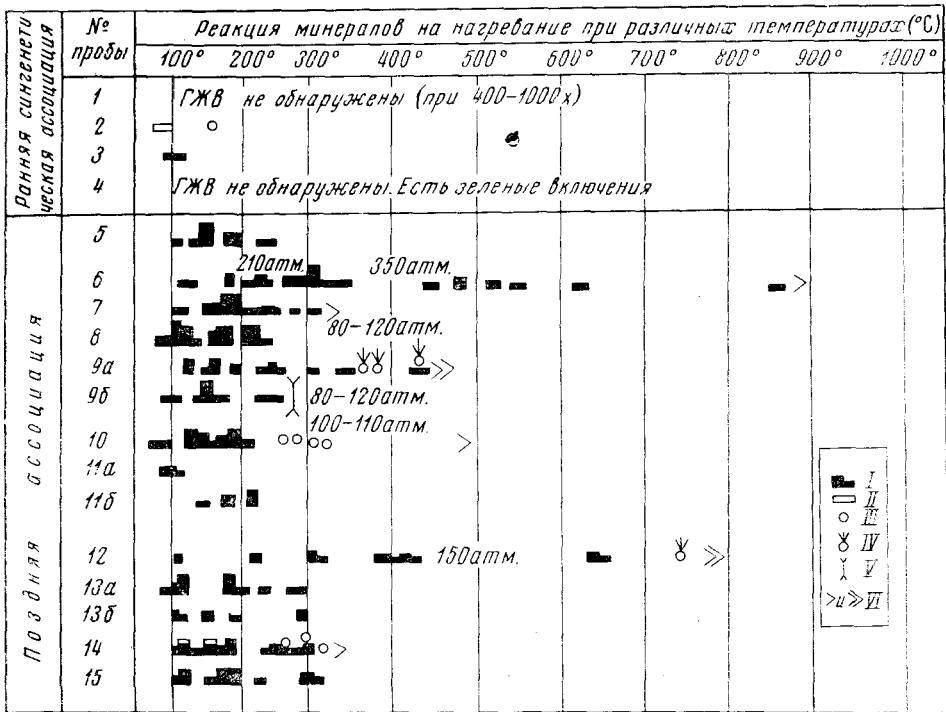
Примечание. В скобках — данные А. П. Тургинова и В. В. Наумова (4).

включения при снижении  $T$  (нагрев приводит вначале к растворению той части газа, которая не была адсорбирована, а затем — к десорбции связанного с поверхностью стенок ГЖВ газа), или обратным распадом находящихся в растворе комплексов ГЖВ. Декрепитационные эффекты фиксировались пьезоэлектрическим датчиком и выборочно — по нарушению вакуума в камере, куда помещалась проба.

Оценка давлений во включениях при  $T_{\text{гом}}$  производилась методом В. В. Наумова и С. Д. Малыгина (2). Для кварца приняты критические давления 850±50 атм, измеренные экспериментально (2). Для других минералов, при помощи данных о твердости, мы выполнили пропорциональный пересчет этой величины; допустимость такого приема keresztя в утверждении В. Д. Кузнецова, что ряды кристаллов в шкале твердости совпадают с их рядами по методу царапания, затухающих, колебаний, сверления, шлифования и по методу Герца (3), стр. 41). Результаты помеще-

ных точек гомогенизации и гетерогенизации, особенно — если обнаруживалось два значения  $T_{\text{гом}}$ : при этом обычно после первого определения при перегреве на 20—50° (редко — на 100—150°) вновь появлялся газовый пузырек, растворявшийся в газовой фазе вакуулы при  $T$ , на 60—100° выше первой  $T_{\text{гом}}$  (или не растворявшийся даже при нагреве до 900°). Подобные аномалии (по В. Н. Труфанову (1) — двойная гомогенизация), вероятно, обусловлены или сорбционными явлениями между газом-узником и стенками

Температуры и давления формирования некоторых минеральных ассоциаций колчеданных месторождений



Примечание. № 1 — опаловидный кварцит с пиритом; № 2 — кварцит-серпичитовая порода с пиритом, в кварце; № 3 — карбонат органогенный с пиритом и редкими зернами кварца, в кварце; № 4 — кварц-серпичитовая порода с пиритом и порфиروبластическим сфалеритом; № 5 — кварц-хлоритовая жилка с пиритом, в кварце; № 6 — пирит с халькопиритом в туфах, в последних — зерна кварца; № 7 — сфалерит мелкозернистый огнейсованный, в сфалерите; № 8 — кварц-пиритовые жилки, в кварце; № 9 — кальцит-кварцевая жилка со сфалеритом, галенитом и халькопиритом в кварц-серпичит-пиритовой породе; № 9a — в сфалерите; № 9b — в кальците; № 10 — баритовые гнезда в пиритовой массе; № 11 — барит-флюоритовые гнезда в пирит-сфалерит-халькопиритовой руде; № 11a — во флюорите; № 11b — в барите; № 12 — флюоритовое гнездо; № 13 — кварц-кальцитовая жилка с халькопиритом и теннантитом в колчедане с гнездами сфалерита и халькопирита; № 13a — в кальците; № 13b — в кварце; № 14 — кварц-кальцитовая жилка с галенитом и халькопиритом; № 15 — кварц-кальцитовый агрегат с галенитом. I — количество гомогенизирующих ГЖВ в относительных единицах; II — гомогенизация с последующей гетерогенизацией; III — гетерогенизация; IV — декрепитация ГЖВ без гомогенизации; V — декрепитация вслед за гомогенизацией; VI — часть ГЖВ остается без существенного изменения.

щены в табл. 1 и на рис. 1. Хотя использованный путь привел к давлениям, отличным от данных А. И. Тугаринова и В. Б. Наумова (4), близость рассчитанных величин давления по ГЖВ в разных минералах одной парагенной ассоциации дает нам право не пренебрегать методом пересчета.

Материалы исследований показаны в табл. 2. Медноколчеданные руды отобраны на контакте с туфами и карбонатами. Другие рудные минералы, помимо пирита и халькопирита, не отмечены. Руды, обогащенные галенитом, отобраны близ контакта с габбро-порфириновой дайкой в Учалинском карьере и вне всякой видимой связи с дайками — в карьере месторождения им. XIX партсъезда. Прожилково-вкрапленные образования различного состава: анкеритового, кварц-карбонатного, кварцевого, баритового и флюоритового с пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и блеклыми рудами — изучались главным образом по керну скважины, пройденных на Узельгинском месторождении, и частично — по образцам из карьера месторождения им. XIX партсъезда.

Термометрические данные характеризуют наиболее ранние пиритсо-державшие породы серпичит-кварцевого, существенно хлоритового, кварц-

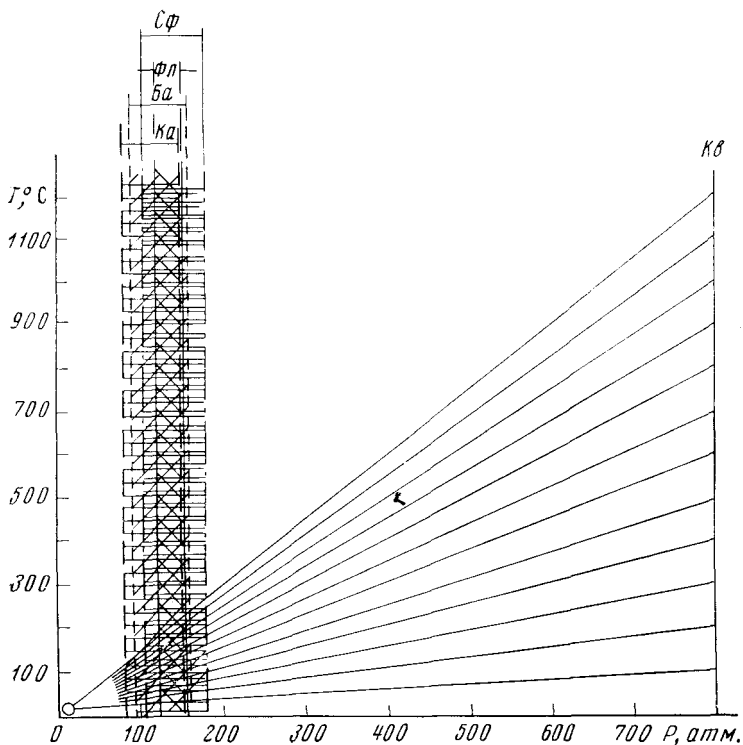


Рис. 1. Схематическая геометрическая увязка данных термометрии с расчетными величинами критических давлений в ГЖВ для кварца, карбонатных минералов, барита, флюорита, сфалерита и пирита

хлоритового и анкерит-хлоритового состава как образования низкотемпературных условий и сред, вероятно обогащенных коллоидами. Об этом, в частности, можно судить: а) по чрезвычайно тонкозернистой, опаловидной структуре кварцитов; б) по наличию фрамбоидальных оливково-зеленых полупрозрачных глобул диаметром около 0,001 мм, необратимо буреющих при нагревании до 300–350°; в) по отсутствию диагностируемых первичных газовой-жидких или газовых включений. Все перечисленные образования, скорее всего, принадлежат к сингенетической стадии рудообразования.

Халькопиритовая, сфалеритовая и другие ассоциации с рудными минералами содержат ГЖВ, отличаются высокими температурами гомогенизации при умеренных величинах давлений. Очевидно, все они относятся к поздним генерациям, наложенным на продукты ранней стадии. Обычно в одном зерне минералов поздней генерации обнаруживаются ГЖВ 2–5 типов. Поэтому критерии для уверенного отнесения разновидностей одного и того же минерала к разным генетическим типам по температурным характеристикам отсутствуют.

Включения обычно двухфазны. В низкотемпературных отчетливо виден подвижный газовый пузырек  $\text{CO}_2$ . Соотношение объемов газовой и жидкой фаз варьирует от 1 и более в высокотемпературных до 0,05 в низкотемпературных. Лишь в отдельных образцах (кварц из туфа с пирит-халькопиритовой минерализацией) во включениях отмечена третья фаза, по внешнему виду жидкая, но неподвижная, прилипающая к стенке вакуоли и не реагирующая на нагрев до 1000–1050°. Показатель преломления ее сравнительно с окружением высокий.

Водные вытяжки из дробленых или поинтервально прогревавшихся проб имеют существенно хлорид-гидрокарбонатный или гидрокарбонатный

## Результаты химического анализа водных вытяжек содержимого ГЖВ

Образец	Т нагре- ва, °С	Содержание компонентов, мг-экв на 100 г пробы									
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ <sub>кат</sub>	Σ <sub>ан</sub>	pH
Пирит-серицито- вая порода	240	—	—	0,1026	0,013	0,025	0,024	0,131	0,193	0,103	8,00
То же, но допол- нительно рас- тертая	240	0,276	0,060	0,2873	0,084	0,204	0,108	0,16	0,557	0,623	8,09
Пирит-хлорито- вая порода	240	—	—	0,2456	0,096	0,018	0,072	0,131	0,317	0,246	8,30
То же, дополни- тельно рас-тер- тая	240	—	—	0,380	0,127	0,104	—	0,204	0,436	0,380	7,88
Окварцованная порода с пиритом, растертая	240	0,624	—	0,045	0,154	0,063	0,084	0,365	0,665	0,669	8,25
Кальцит жильный	240	0,036	0,063	—	0,034	0,004	—	0,096	0,134	0,100	8,10
	240	0,024	0,071	—	0,041	0,014	—	0,048	0,105	0,095	8,03
Кварц жильный	240	0,222	0,0855	—	0,065	0,006	—	0,216	0,297	0,307	7,78
Барит	240	0,258 <sup>?</sup>	0,085	0,004	0,069	0,002	—	0,048	0,119	0,347 <sup>?</sup>	7,84
Кварц + кальцит в жиле	20	0,58	0,035	—	0,054	0,033	—	0,52	0,607	0,615	7,94
	220	0,26	0,014	—	0,005	0,002	—	0,24	0,247	0,274	7,83
		0,26	0,014	—	0,002	0,0007	—	0,21	0,213	0,274	7,8
	410	0,168	0,08	Сл.	0,03	0,001	—	0,21	0,241	0,248	7,7
		0,14	0,04	»	0,022	0,001	—	0,14	0,163	0,18	7,74
Кальцитовая жила	20	0,68	0,023	—	0,021	0,13	—	0,6	0,75	0,703	7,94
	220	0,29	—	—	0,003	0,001	—	0,22	0,224	0,29	7,83
		0,26	—	—	0,001	0,0002	—	0,22	0,221	0,26	7,74
	410	0,24	0,028	—	0,022	0,0015	—	0,24	0,263	0,268	8,01
		0,19	0,014	—	0,01	0,001	—	0,16	0,171	0,204	7,61

Примечание. Очевидно, что в некоторых пробах утеряна часть анионных составляющих ГЖВ; весьма вероятно, что это в основном CO<sub>2</sub>.

с хлоридами состав анионной части при ведущей роли среди катионов в большинстве случаев Mg и Ca, а иногда K и Na; реакция — щелочная (табл. 3). Заметно изменение состава вытяжек из проб, прогретых до разных температур.

При рассчитанных давлениях разница между температурами гомогенизации и декрепитации ГЖВ кварцев и близких к ним по прочности пиритов может быть значительной: от 100—150 до 700—800° и более, что отчетливо видно на рис. 1. Поэтому данные по декрепитации сами по себе, по нашему мнению, неоднозначны.

Здесь приведены сведения лишь об одной группе колчеданных месторождений. Если они отражают первичные процессы, то нами исследовались образования вулканических областей, характеризующиеся первоначально приповерхностными условиями рудоотложения, а позже — небольшими глубинами и пульсационно менявшимися высокими температурами.

Поступило  
28 VI 1972

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. Н. Труфанов, В сборн. Рудообразующая среда по включениям в минералах, «Наука», 1972. <sup>2</sup> В. Б. Наумов, С. Д. Малинин, «Геохимия», № 4 (1968). <sup>3</sup> В. Д. Кузнецов, Поверхностная энергия твердых тел, М., 1954. <sup>4</sup> А. И. Тугаринов, В. Б. Наумов, ДАН, т. 195, № 1 (1970).