

## ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ САРАЛИНСКИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КУЗНЕЦКОМ АЛАТАУ

А. Е. МИРОШНИКОВ, В. Г. ПРОХОРОВ (СНИИГГИМС)

Кварцево-жильные месторождения Саралинского золоторудного поля располагаются в водораздельной части Кузнецкого Алатау. Рудное поле складывается верхнедокембрийской-нижнекембрийской вулканогенно-осадочной толщей, деформированной в куполовидную асимметричную антиклинальную складку с осью, погружающейся в северном направлении к Араратскому гранитоидному массиву. Месторождения приурочены к северной части антиклинали и выполняют структуры отслоения в шарнире складки, концентрические и радиальные трещины скола, обязанные своим заложением периоду становления брахиантиклинальной структуры рудного поля. Эти структуры иногда вмещают силлы порфиритов, в общем случае согласные с кварцевыми жилами. В некоторых участках силлы порфиритов пересекаются последними и испытывают окolorудные изменения, выражающиеся в хлоритизации и окварцевании. Кварцевые жилы, в свою очередь, пересекаются многочисленными пострудными субмеридиональными дайками диабазов, габбро-диабазов и диабазовых порфиритов, выполняющими сводовые трещины разрыва. На контактах с последними кварцевые жилы подвергаются контактовому метаморфизму [1, 10, 13].

По минеральному составу месторождения Саралинского района относятся к малосульфидной кварцево-золоторудной формации, место которой в известных генетических классификациях находится в мезотермальном типе гидротермальных месторождений. Основу руд составляет кварц, количество которого колеблется от 90 и почти до 100%. В числе минералов-спутников отмечаются пирит, шеелит, кальцит, анкерит, альбит; в малых количествах, но широко распространены галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, пирротин, серицит, хлориты; спорадически встречаются блеклые руды, сульфиды серебра, апатит, рутил, самородное серебро, висмут и некоторые другие минералы. Золото в кварцевых жилах присутствует в самородном виде и в сульфидах. Пробы золота колеблются от 500—600 до 900, редко встречаются высококрасное золото и электрум.

В малосульфидных рудах Саралинских месторождений почти не проявились пересечения разностадийных минеральных сообществ гидро-

термального этапа в виде прожилков и жил, за исключением единственного примера пересечения жилы, сложенной бессульфидным темно-серым кварцем, жилой светло-серого кварца с сульфидами в Андреевском месторождении, приведенного А. М. Хазагаровым [15]. Но и этот пример можно объяснить лишь простым наложением сульфидов на участки катаклазированного кварца, в которых последний, в связи с этим, испытал перекристаллизацию и осветление. Чаще наблюдается пространственное совмещение наложения вкрапленности минералов поздних стадий на более раннее жильное выполнение.

Поэтому разные исследователи жильных золото-кварцевых месторождений Саралинского рудного поля, пользуясь только структурным анализом руд, намечают резко различное число стадий минерализации.

Различия в выводах, полученных при использовании одного и того же метода изучения, побудили нас применить для их проверки ряд дополнительных независимых методов исследования. В этих целях авторами сделана попытка рассмотреть особенности распределения типоморфных признаков минералов Саралинских месторождений, принимая характер их распределения за генетическую характеристику процесса минералообразования. В качестве типоморфных признаков были рассмотрены содержания элементов-примесей, термоэлектрические свойства, температура декрепитации и гомогенизации, состав газовой-жидких включений, люминесценция.

Нахождение элемента-примеси в минерале-хозяине определяется процессами образования минерала. Элемент может быть захвачен в период кристаллизации минерала или привнесен растворами последующих наложенных стадий оруденения и осажден на ранее сформированном минерале.

Рассматривая характер распределения элемента-примеси в минерале-хозяине как генетическую характеристику процесса минералообразования [6, 9 и др.], можно выделить несколько типов распределений, отвечающих особенностям процесса.

В случае, когда отложение минерала-хозяина и примеси проходило в течение одного и того же периода из одного и того же раствора, характерно однородное распределение примеси. Содержание элемента-примеси в минерале-хозяине отличается выдержанностью и небольшими отклонениями от среднего значения, т. е. дисперсия концентраций примеси незначительна. Распределение элемента-примеси подчиняется определенному закону и отражается одновершинной гистограммой распределения. Элементы-примеси, осаждавшиеся из одного минерализующего раствора совместно в одну и ту же стадию процесса, показывают наличие корреляционной связи. При этом положительная корреляционная связь между элементами-примесями свидетельствует об одновременном отложении элементов и минералов-носителей этих элементов, а отрицательная — о последовательном отложении в одну или разные стадии процесса. Отсутствие связей между ними указывает на то, что они являются продуктами разных стадий процесса [9, 17].

Если накопление элемента-примеси проходило в две или больше стадии, будет иметь место наложение различных распределений одного и того же элемента, а графики распределения концентраций приобретут неоднородность, две или более вершины [2, 5, 16, 18].

Таким образом, изучение характера распределения различных элементов в одном и том же минерале дает большую информацию при геохимическом исследовании минеральных парагенезисов.

Характер распределения элементов-примесей в пирите Каскадного месторождения представлен в форме гистограмм, по данным количественного спектрального анализа 266 проб для свинца, серебра, меди.

никеля, марганца и для мышьяка по данным полуколичественного спектрального анализа тех же проб (рис. 1, 2). Выбор именно этих элементов обусловлен тем, что одни из них считаются гидротермальными спутниками золота (свинец, серебро, мышьяк) [7, 11, 12], другие широко распространены во вмещающих породах рудного поля (марганец, никель, медь).

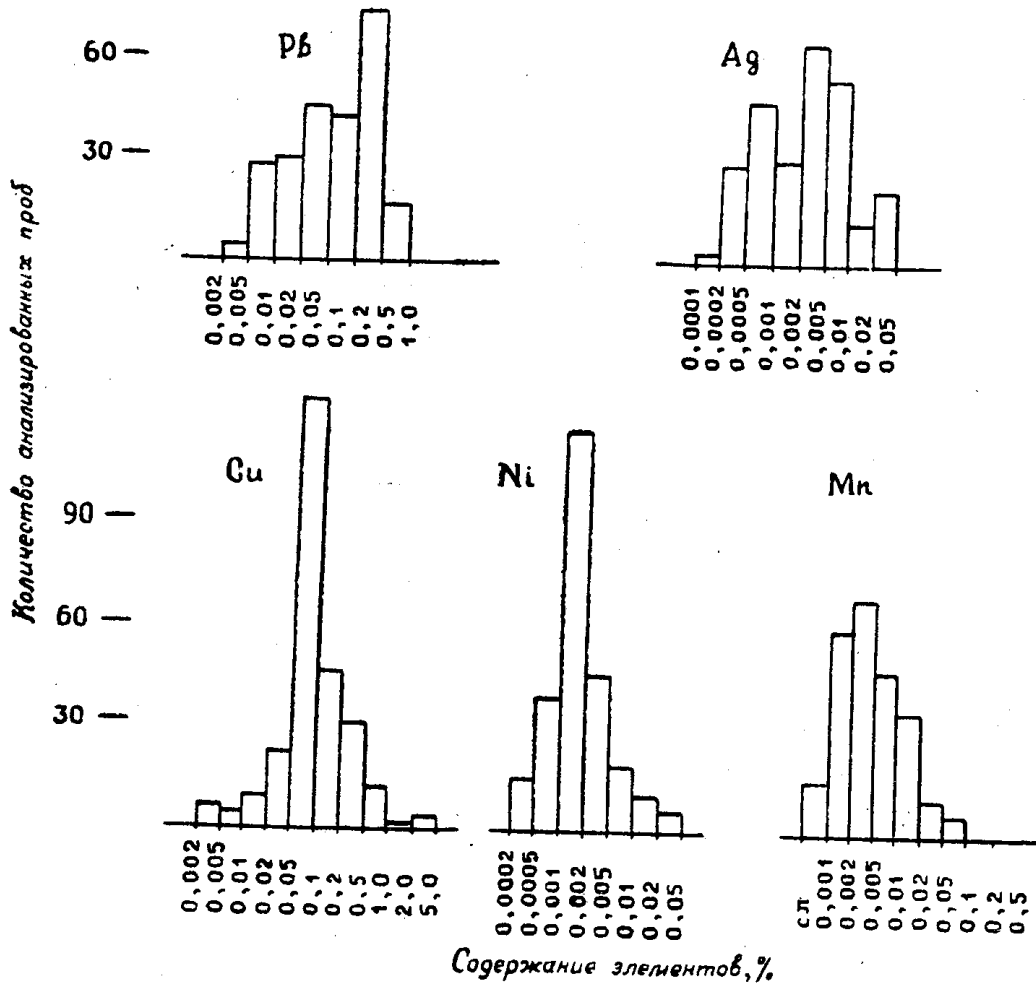


Рис. 1. Гистограммы распределения элементов в пирите Каскадного месторождения по данным количественного спектрального анализа (аналитик Титаренко А. Д., КО СНИИГГИМС)

По оси абсцисс на графиках отложены классы концентраций в логарифмически равных интервалах, по оси ординат — количество проб, показавших данную концентрацию.

Качественно, по конфигурации гистограмм, распределения марганца, меди и никеля могут быть оценены как логнормальные. Исследование согласованности законов распределения с логарифмически-нормальным, проведенное по статистическим критериям согласия: коэффициентам асимметрии и эксцесса, постоянным Пирсона, — показало [14], что распределение марганца отвечает логарифмически-нормальному, распределения меди и никеля также близки к логнормальному, лишь несколько отличаясь по «крутости».

Свинец и серебро дают распределения с четко проявленной двухвершинностью, что является следствием наложения двух типов распределений со смещенными модами [16].

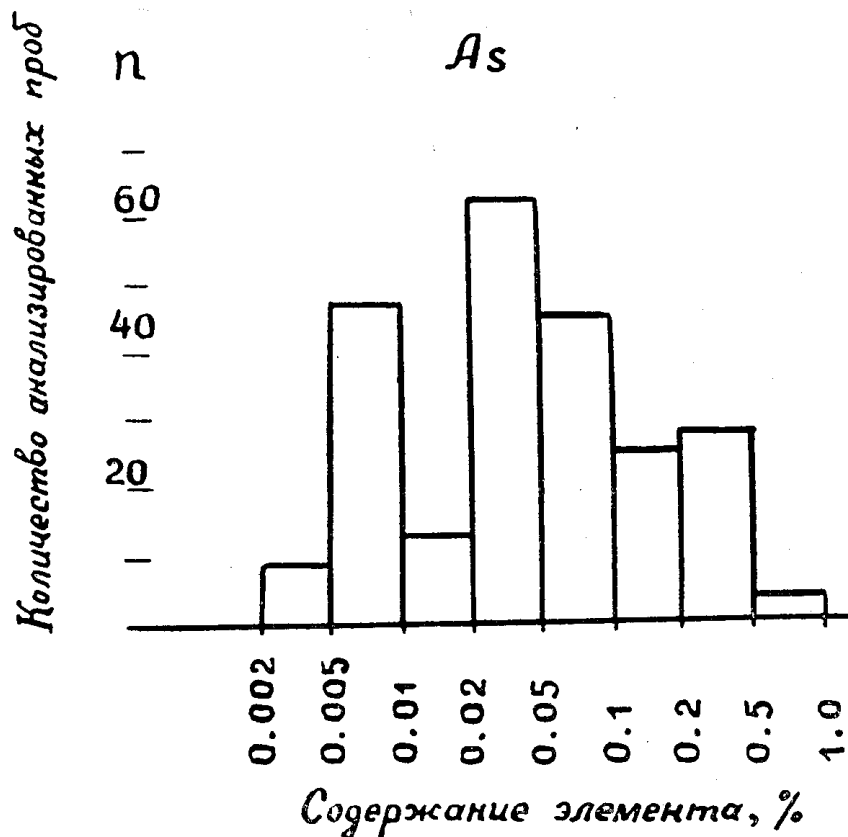


Рис. 2. Гистограмма распределения мышьяка в пирите Каскадного месторождения по данным приближенно-количественного спектрального анализа (аналитик Желтова А. Ф., КО СНИИГГИМС)

Для исследования особенностей этих распределений был использован приближенный метод усечений [4, 16]. Значимость различий их средних величин и дисперсий определялась с помощью критериев Фишера и Стьюдента [3, 18]. Каждое из усеченных распределений исследовалось на предмет согласованности с логнормальным распределением при помощи постоянных Пирсона.

Проведенные вычисления [14] подтверждают существование для свинца и серебра наложения двух типов распределений. При этом только правые распределения обоих элементов согласуются с логнормальным законом, левые распределения не отвечают ему.

Распределение с двумя модами, одной в области низких и другой в области более высоких концентраций, дает также мышьяк. Слабо выраженная третья вершина в интервале 0,2—0,5% обусловлена неравномерностью распределения и требует сглаживания, так как проверка гипотезы о различии дисперсий по критерию Фишера не дает оснований для ее выделения.

Таким образом, по особенностям распределения выделяются три группы элементов. К первой группе относится марганец, имеющий одновершинное логнормальное распределение. Вторую группу составляют медь и никель, имеющие симметричные одновершинные распределения, несколько отличающиеся от логнормального распределения своей «крутостью». И, наконец, свинец, серебро и мышьяк имеют двувершинные распределения с наложенными двумя типами распределений и образуют третью обособленную группу элементов.

Изучение корреляционной связи между элементами, исследован-

ными количественным спектральным анализом, показало, что только между свинцом и серебром отмечается наличие существенной прямой корреляции. Между другими парами элементов корреляционные связи отсутствуют [14].

С различной четкостью проявленная двувёршинность выявляется также при исследовании распределения золота в рудах [8]. Сравнение оценок параметров левых и правых усеченных распределений по нескольким выборкам показало их значительные различия, а графические исследования согласованности с теоретическими законами распределения с помощью вероятностных трафаретов указали на их близость к логнормальному закону. Это позволяет отнести золото к группе элементов, характеризующихся двувёршинными распределениями.

Разделение элементов-примесей на те же группы по характеру распределений отмечается также и в кварце (рис. 3), по данным полуколичественных спектральных анализов при разбивке порядка концентрации на меньшее число интервалов.

Опираясь на приведенные выше соображения о связи характера распределения элементов-примесей в минерале-хозяине с его историей формирования, по полученным результатам исследования особенностей

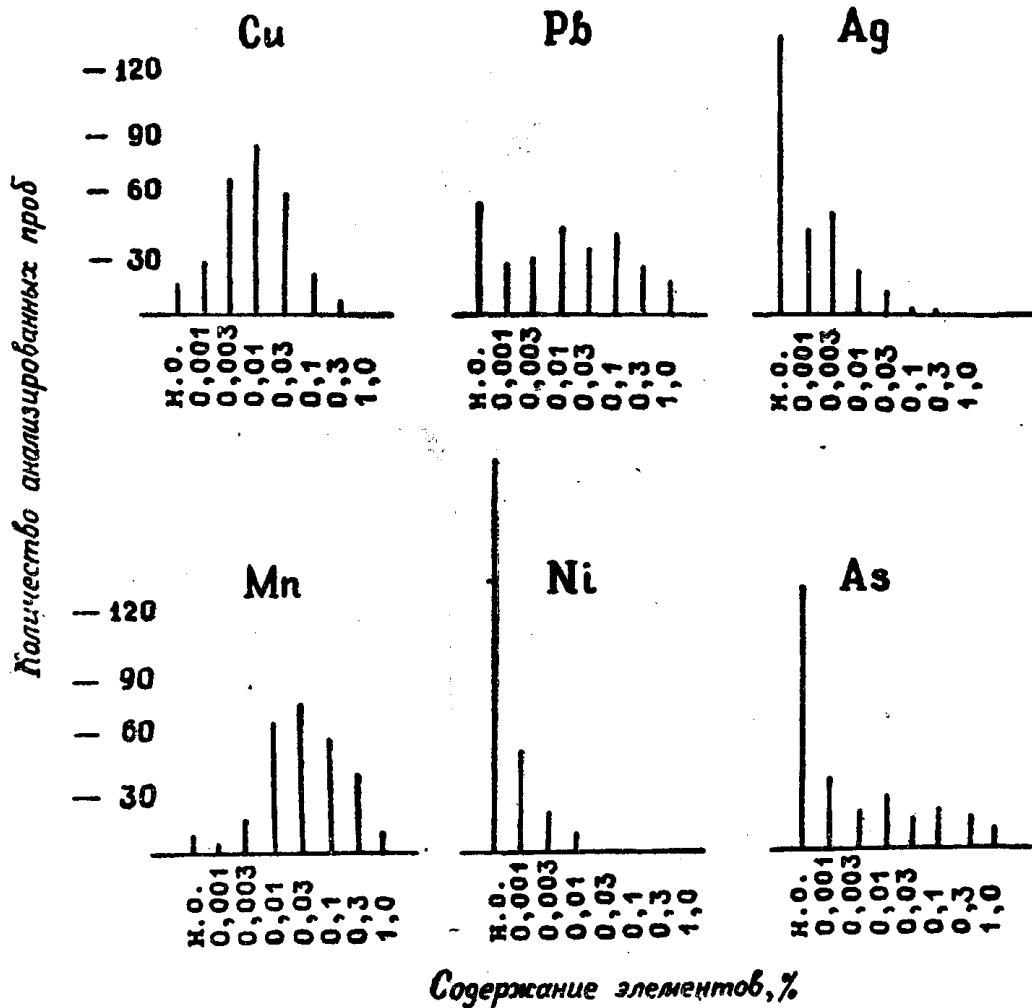


Рис. 3. Гистограммы распределения элементов в кварце Каскадного месторождения по данным приближенно-количественного спектрального анализа (аналитик Желтова А. Ф., КО СНИИГГИМС)

распределения элементов-примесей в пирите и кварце и золота в рудах можно сделать следующие генетические выводы:

1) однотипное распределение элементов-примесей в пирите и кварце свидетельствует о сходной или тождественной истории их формирования в рудных телах;

2) накопление марганца и основного количества меди и никеля происходило одновременно с отложением кварца и пирита, что выражается однородным распределением этих элементов в минералах;

3) накопление свинца, серебра, мышьяка и золота проходило в течение двух периодов процесса минералообразования, на что указывает их неоднородное двувёршинное распределение;

4) два выделенных периода отличаются по накопленным элементам и по характеру, так как между элементами первого из них корреляционные связи отсутствуют, а между элементами второго устанавливается прямая положительная корреляционная связь, при отсутствии связи между элементами первого и второго периодов.

Такие взаимоотношения между элементами в минералах и между минералами могли возникнуть при следующей последовательности процессов.

В первую стадию минералообразования шло отложение кварца и пирита с обогащением их марганцем и небольшими количествами меди, никеля, свинца, серебра, мышьяка и золота. Образование большого количества кварца происходило при выполнении приоткрывающихся полостей кремнеземом, частью привнесенным гидротермальными растворами, частью заимствованным из вмещающих пород. В зонах дробления кварц отлагался, замещая обломки пород. Образование пирита шло в основном за счет заимствования железа из пород, вмещающих кварцевую жилу. Элементы-примеси также заимствовались из вмещающих пород. Вследствие их неодинаковых количеств в породах они дали различные и некоррелирующиеся распределения.

Обогащение кварца и пирита свинцом, серебром, мышьяком и золотом и образование собственных минералов этих элементов произошло при наложении второй, полиметаллической стадии минерализации. Привнос этих элементов определил возникновение в их распределениях вторых максимумов. Отсутствие привноса марганца и существенного привноса никеля и меди сохранило первичное распределение этих элементов в кварце и пирите. Гидротермальные растворы второй стадии, по-видимому, не содержали необходимый материал и не повлекли за собой образование нового пирита и значительных количеств кварца, они лишь способствовали их некоторой перекристаллизации.

Это подтверждается данными изучения термоэлектрических свойств пирита и температур декрепитации кварца, пирита и других минералов.

На гистограмме (рис. 4) показано распределение величин термоэлектрических сил пиритов из различных жил Саралинского рудного поля. Эта сводная гистограмма построена на основании 3822 замеров, проведенных на 484 мономинеральных пробах пирита. Как видно из гистограммы, подавляющая часть пирита месторождений рудного поля имеет дырочную проводимость, что характеризует его как сравнительно низкотемпературное образование. Незначительное количество пирита, обладающего электронной проводимостью, является продуктом перекристаллизации раннего пирита под влиянием высокотемпературных гидротерм полиметаллической стадии. На это указывает неравномерный характер распределения участков с электронной проводимостью в основной массе дырочного пирита и отсутствие новых кристаллов и агрегатов, целиком сложенных пиритом с электронной проводи-

мостью, как это бывает при отложении пирита из высокотемпературных растворов.

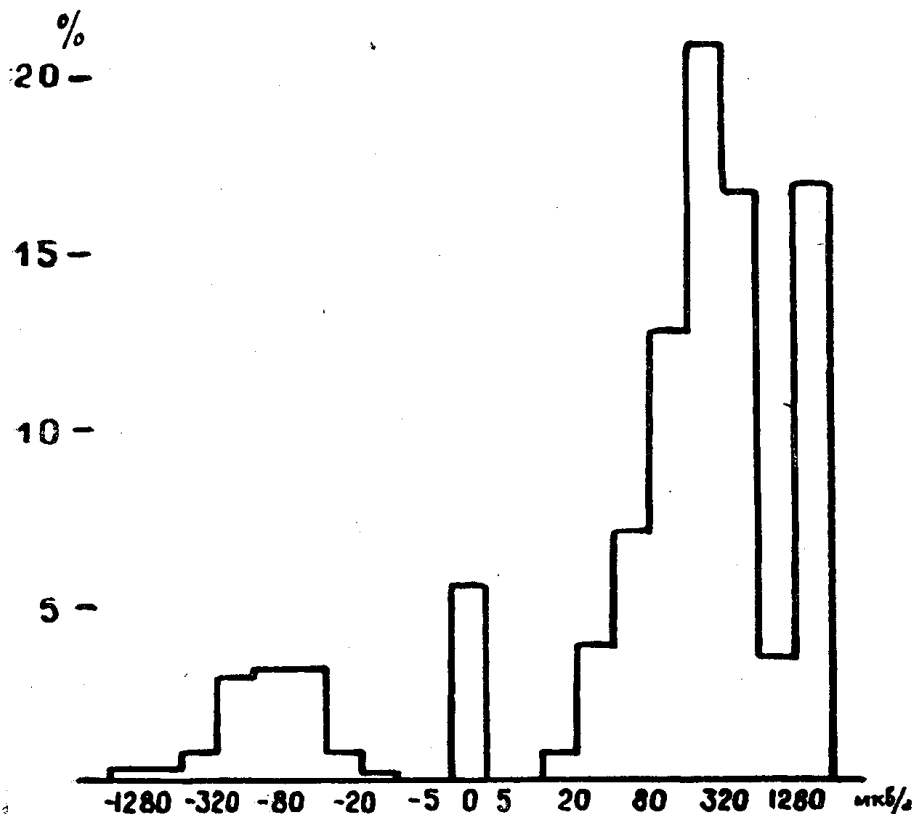


Рис. 4. Сводная гистограмма распределения значений ТЭДС в пиритах месторождений Саралинского рудного поля

Электронная проводимость, кроме того, отмечается в пиритах, прогретых теплом пострудных даек, где в условиях высоких температур контактового метаморфизма шла перекристаллизация пирита и изменение его, вплоть до превращения в пирротин.

Перекристаллизацию пирита под влиянием тепла растворов полиметаллической стадии и тепла пострудных даек подтверждают также данные декрепитации. Для пирита устанавливается наличие образцов с включениями, декрепитирующими в области низких температур (до  $100^{\circ}\text{C}$ ); образцов с включениями, разрушающимися в области высоких температур ( $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ ), и образцов (последних больше всего) с включениями, декрепитирующими в широком диапазоне температур от  $100$  до  $400^{\circ}\text{C}$ .

Низкотемпературные пириты — это пириты из участков жил, удаленных от контактов с пострудными дайками и не затронутые наложенными процессами полиметаллической стадии минерализации. В них сохранились включения, отражающие температуру образования раннего метасоматического пирита. Пириты с включениями, декрепитирующими в широком диапазоне температур, обычно находятся по соседству с минералами наложенной полиметаллической стадии. Высокотемпературные пириты располагаются вблизи контактов с пострудными дайками.

Таковыми же данными декрепитации (рис. 5), а следовательно, и аналогичной историей становления и существования характеризуется также и кварц месторождений Саралинского рудного поля.

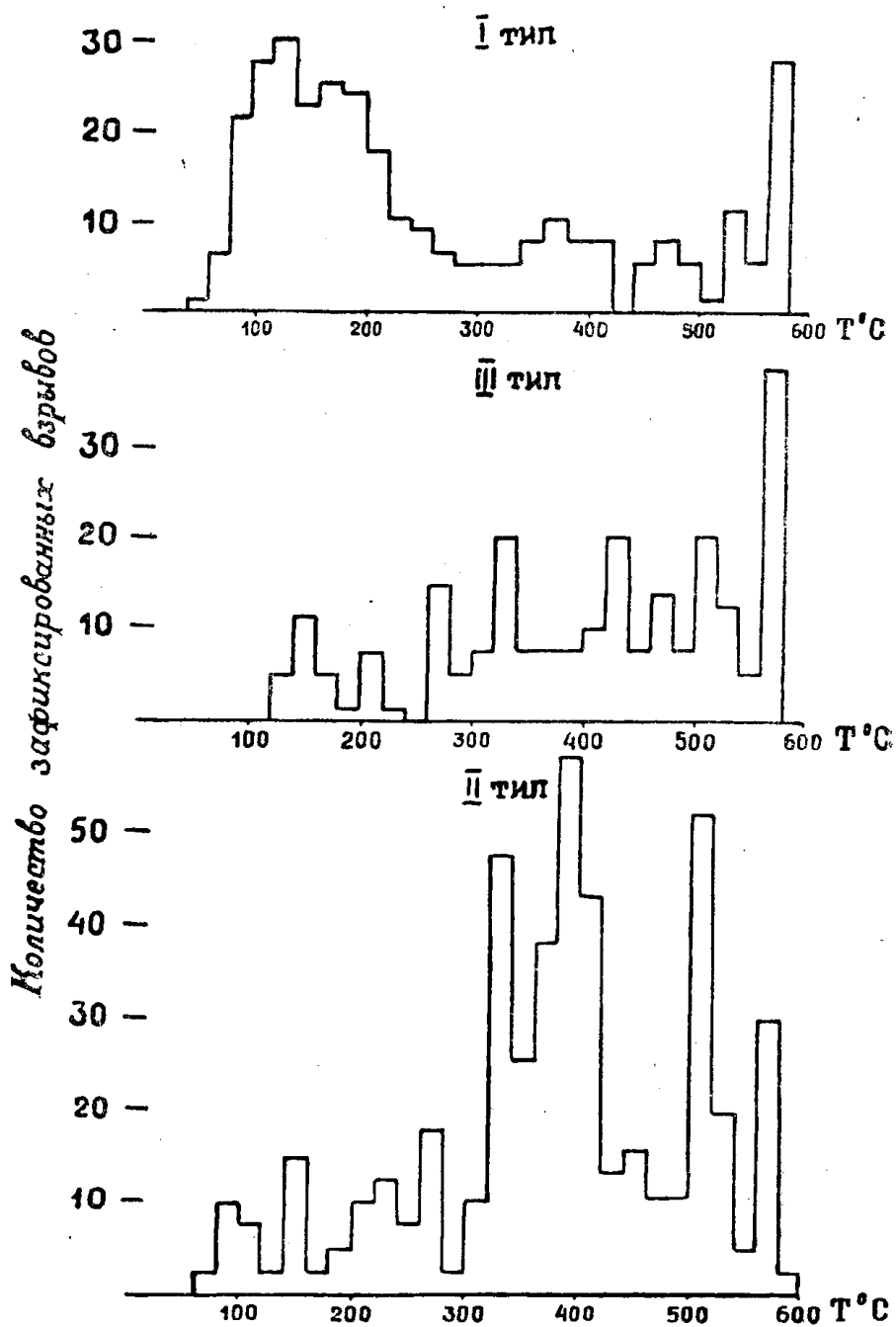
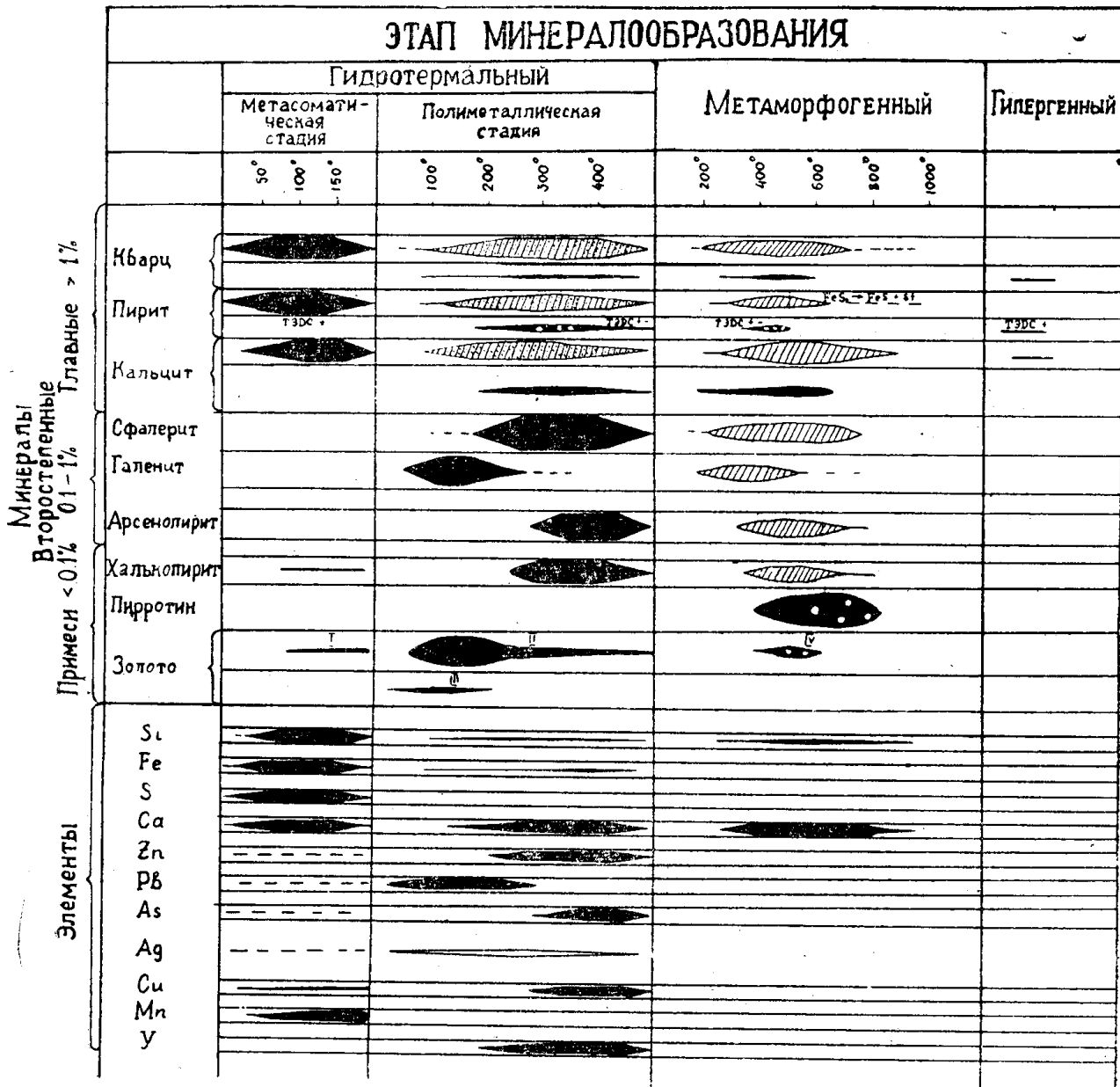


Рис. 5. Сводные диаграммы декрепитации кварцев различного типа: I — первичный низкотемпературный кварц (по 8 образцам), II — перекристаллизованный кварц из участков жил с наложенной полиметаллической минерализацией (по 5 образцам), III — метаморфизованный кварц из контактов жил с пострудными дайками (по 7 образцам)

Привлекая дополнительно сведения по распространению в месторождениях и данные по температурным интервалам декрепитации сфалерита, халькопирита, галенита, арсенопирита, а также учитывая характер люминесценции и распределение иттрия и фосфора в кальцитах, мы отразили последовательность образования минералов и историю становления месторождений Саралинского рудного поля в виде парагенетической схемы (рис. 6).





#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Рис. 6. Схема последовательности минералообразования в месторождениях Саралинского рудного поля по данным изучения типоморфных особенностей минералов. 1 — первичное отложение вещества, 2 — переотложение, 3 — метаморфизм и пере кристаллизация с привносом, 4 — метаморфизм без привноса, 5 — граница устойчивости минерала

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов В. И. К вопросу о возрастных соотношениях даек и руд в Саралинском рудном поле. Труды ИГ и Г СО АН СССР, вып. 4, 1960.
2. Бахтин А. И. Об использовании функций распределения меди, свинца и цинка в геохимических исследованиях. «Геохимия», 1964, № 12.
3. Беус А. А., Григорян А. Я. Использование методов математической статистики при геохимических поисках. Госгеолком. М., 1965.
4. Вистелиус А. В. Морфология сбломочных частиц. Труды лаборатории аэрометодов АН СССР, т. IX, 1960.
5. Гоганов В. А., Кропачев А. М. Применение корреляционного анализа при решении некоторых геохимических вопросов на примере молибденового месторождения в Восточном Забайкалье. «Геохимия», 1962, № 2.
6. Канцель А. Ф. Функция распределения металла в рудах как генетическая характеристика процесса рудообразования. Известия АН СССР, сер. геол., № 10, 1966.
7. Курбанаев М. С., Алтыбаев А. А., Боброва М. Д., Иськив В. М. Применение геохимических методов для поисков месторождений полиметаллов и золота в некоторых рудных районах Казахстана. Информационное издание ВИНТИ, 1963.
8. Мирошников А. Е., Прохоров В. Г., Гевчук А. П. Статистическое исследование распределения золота в одном месторождении Кузнецкого Алатау. «Геология и геофизика», 1968, № 10.
9. Мягков В. Ф. О геохимическом принципе исследования минеральных парагенезисов магматогенных месторождений. «Геохимия», 1963, № 4.
10. Новоселов А. М. Роль протеробазовой магмы в метаморфизме золоторудных месторождений Саралы. Вестник ЗСГУ, вып. 3, 1939.
11. Петровская Н. В. О продуктивных минеральных ассоциациях в золоторудных месторождениях. Записки ВМО, ч. 84, № 3, 1955.
12. Петровская Н. В. Характер золотоносных минеральных ассоциаций и формации золотых руд СССР. XXI сессия МГК, докл. советских геологов, проблема 16. Генетические проблемы руд. Госгеолтехиздат, 1960.
13. Прохоров В. Г. Экспериментальное исследование возможности термического моделирования. Геология рудных месторождений, т. IX, № 3, 1967.
14. Прохоров В. Г., Мирошников А. Е., Титаренко А. Д. Исследование микропримесей в пиритах золото-кварцевых жил Саралинского рудного поля. Записки Красноярского отделения ВМО, вып. 1, Красноярск, 1968.
15. Хазагаров А. М. Стадийность оруденения золотых месторождений Саралинского рудного поля. «Разведка и охрана недр», 1957, № 5.
16. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. ИЛ, 1956.
17. Фахри А. Зональность первичных ореолов золоторудного месторождения и миграционная способность элементов. Вестник МГУ, сер. IV, 1965, № 5.
18. Шарапов И. П. Применение математической статистики в геологии. Изд-во «Недра», 1965.